

LAMMIN LÖSSI



Pro gradu -tutkielma

Annika Lindström

Geotieteiden ja maantieteen laitos

Geologian osasto

Helsingin yliopisto

10.5.2016

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion – Faculty/Section Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos – Institution – Department Geotieteiden ja maantieteen laitos	
Tekijä – Författare – Author Annika Lindström			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Lammin lössi			
Oppiaine – Läroämne – Subject Geologia			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma	Aika – Datum – Month and year 05/2016	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 68	
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>Lammin alueella esiintyvät, eolisiksi tulkitut, silttirikkaat kerrokset tunnetaan yleisesti Lammin lössinä. Käsité on vakiintunut, vaikka kerrostumasta ei ole kattavia tutkimuksia nykyaikaisilla sedimentologisilla menetelmillä ja osa aiheen piirissä tehdyistä aiemmista tutkimuksista kyseenalaistaa kerrostuman täysin eolista syntyperää. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten Lammin lössinä tunnetut silttikerrokset sopivat lössin määritelmiin, millaisia piirteitä kerroksen rakeista voidaan havaita ja missä laajuudessa ja miten Lammin lössi esiintyy Lammin alueella.</p> <p>Lammin lössikerroksia tutkittiin kenttähavainnoinnin ja raekokoanalyysien avulla, sekä sedimentin rakeiden pintarakenteita analysoimalla elektronimikroskoopin (SEM) avulla. Tavoitteena oli saada kattava käsitys kerrostuman ominaisuuksista ja esiintymisestä Lammin alueella, sekä rakeille tyypillisistä piirteistä. Aineistona oli 18 sedimenttinäytettä kymmeneltä eri kohteelta Lammin alueelta, sekä vertailukohteena yksi dyyninäyte. Kohteiden korkeudet vaihtelivat 117-166 mmpy (metriä merenpinnan yläpuolella) ja suurin osa sijoittui pääasiassa Baltian jääjärven ylimmän rannan (162 mmpy) alapuolelle.</p> <p>Lammin lössi on kohtalaisesti lajittunut, keskimäärin karkeaa silttiä ja hienoa hiekkaa oleva eolinen kerrostuma, joka muodostui, kun Itämeren altaan vedenpinnan pudotuksen paljastamat sedimentit joutuivat eolisen aktiivisuuden piiriin. Kerrostumien lähtömateriaali on peräisin lähialueilta ja kerrostuminen tapahtui melko nopeasti. Lammin lössi esiintyy pienehköinä paikallisina kerrostumina deltojen ja mäkien rinteillä. Esiintymät ovat painottuneet hieman enemmän rinteiden luoteispuolelle. Lammin lössillä on useita lössille ominaisia piirteitä, mutta se on kokonaisuutena hyvin yksilöllinen kerrostuma, jonka ominaisuudet ovat lössien ja peittohiekkojen väliltä. Lammin lössikerrokset muistuttavat lössiä rakenteensa, värinsä, huokoisuutensa ja vinoutuneisuutensa osalta, mutta raekokojakauman hiekan osuus vastaa peittohiekkvoja. Tutkimuksen kohteina olleista sedimenteistä osa on kerrostunut joko kokonaan tai osittain veteen.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Lammi, lössi, eolinen, SEM			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopisto, Geotieteiden ja maantieteen laitos, Geologian osasto			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion – Faculty/Section Faculty of Science		Laitos – Institution – Department Department of Geoscience and Geography	
Tekijä – Författare – Author Annika Lindström			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Lammi loess			
Oppiaine – Läroämne – Subject Geology			
Työn laji – Arbetets art – Level Master's thesis	Aika – Datum – Month and year 05/2016	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 68	
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>The aeolian silty deposits found in Lammi region are commonly known as Lammi Loess. The term is established even though there are no extensive research done with modern sedimentological methods and some of the previous research on the topic are questioning the completely aeolian nature of these deposits. The purpose of this research was to determine how silty deposits known as Lammi loess fit into the definitions of loess, what type of surface textures can be detected from the deposits grains and in what extent and manner Lammi loess occurs in the Lammi region.</p> <p>The loess deposits of Lammi were studied using field observations and grain size analyses. The sediments grain surface textures were analyzed using scanning electron microscope (SEM). The aim of this study was to achieve an extensive understanding of the deposits properties and occurrences in the Lammi region, and also of the typical surface textures of the grains. 18 sediment samples from ten different locations in Lammi was used as material for the study. In addition one dune sample was used as a point of comparison. The locations were situated at 117-166 m asl. (meters above sea level) and majority of them were located mainly below the highest shore of the Baltic Ice Lake (162 m asl.).</p> <p>Lammi loess is moderately sorted aeolian deposit, consisting mainly of coarse silt and fine sand. The deposits were formed when sediments uncovered by the drop of waterlevel in the Baltic basin were exposed to aeolian activity. The source material of these deposits are local and deposition occurred rather quickly. Lammi loess occurs as rather small and local deposits on the slopes of deltas and hills. The formations are more focused on the north-west slopes. Lammi loess has several characteristics typical for loess, but as a whole it is very individualistic formation with properties that are between loess and coversands. The Lammi loess deposits resemble loess in regards of their texture, color, porosity and skewness, but the distribution of sand sized grains matches that of coversands. Some of the studied sediments were either completely or partially deposited in water.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Lammi, loess, aeolian, SEM			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited University of Helsinki, Department of Geosciences and Geography, Division of Geology			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	3
2 TUTKIMUSALUE	5
3 AINEISTO JA MENETELMÄT	6
3.1 Kenttähavainnointi ja näytteet	6
3.2 Kuivaseulonta	8
3.3 Laseranalyysi	9
3.4 SEM-kuva-analyysi	11
4 TULOKSET	13
4.1 Kenttähavainnot	13
4.2 Raekokoanalyysi	38
4.3 Rakeiden pintarakenne	45
5 TULOSTEN TARKASTELU	52
5.1 Raekoostumus	52
5.2 Rakeiden pintarakenne	55
5.3 Lammin lössin esiintymislaajuus ja kerrostumisympäristö	58
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	63
8 KIITOKSET	65
9 VIITELUETTELO	66

1. JOHDANTO

Lammilla olevat silttirikkaat kerrokset tunnetaan yleisesti Lammin lössinä. Nämä eolisiksi tulkitut kerrokset verhoilevat alapuolisia kerroksia ja esiintyvät yleensä hieman korkeammalla mäkien rinteillä. Lössille on olemassa useita erilaisia määritelmiä (mm. Butzer 1965, Smalley 1966, Flint 1971, Pye 1987, 1995 ja Pécsi 1990), joista osa on tarkempia ja määrittelee sedimentin lössiksi vasta sedimentin kerrostumisen jälkeisen, huokostilaan muodostuvien karbonaattien aiheuttaman tiivistymisen ja sementoitumisen, "lössiytymisen", jälkeen. Tutkijoiden joukossa ei ole saavutettu yhteisymmärrystä määritelmästä, sillä osassa maailman lössiesiintymistä ei ole havaittu lössiytymistä (Zarate 1993). Tässä tutkielmassa käytetään Pyen (1987, 1995) yksinkertaistettua määritelmää, jonka mukaan lössi on terrestrinen, tuulen kerrostama, yleensä ruskeankeltainen, rakenteeton ja huokoinen, raekooltaan pääasiassa silttiä oleva ja alapuolisia kerroksia tasaisesti verhoileva sedimentti.

Lammin lössi on alun perin tulkittu eoliseksi (Okko 1957), mutta myöhemmät tutkimukset ovat kyseenalaistaneet kerrostuman täysin eolista syntytapaa (Hyttinen et al. 2014) ja tuovat esille mahdollisuuden, että Lammin lössi olisi tuulen veteen kerrostamaa hienoaainesta (Jauhiainen 1972, Núñez ja Alhonen 1974, Hyttinen et al. 2014). Okko (1957) tutki kerrostumien raekokoja, esiintymistapaa ja kerrostumisympäristöä ja tulkitsi kerrostumat Toisen Salpausselän aikaisiksi, kuivaa ja tuulista ympäristöä kuvaaviksi eolisiksi kerrostumiksi. Jauhiainen (1972) käsitteli silttikerroksen maannosta ja Wisniewski (1973) tutki yleisesti Lamminharjun kerrostumia pystymättä tulkitsemaan tarkemmin harjun silttirikkaan kerroksen mahdollisesti osittain eolista alkuperää. Núñez ja Alhonen (1974) tutkivat Onnenvuoren silttisen ja hienon hiekan kerroksen raekokoa, pyöristyneisyyttä ja rakeiden piirteitä ja päättelivät rakeiden läpikäyneen eolisen kulkeutumisen episodin, mutta tulkitsivat kerrokset enemmän peittohiekkojen tyyppisiksi, kuin lössiksi. Rainio (1982, 1997) tulkitsee kerrostumat eolisiksi ja piirteiltään lössinomaisiksi, mutta ei määrittele kerrostumia tarkemmin miksikään tunnetuksi eoliseksi kerrostumaksi. Hyttinen et al. (2014) yritti ajoittaa hiekka- ja silttivaltaisia kerroksia ja epäili niiden kerrostuneen veteen.

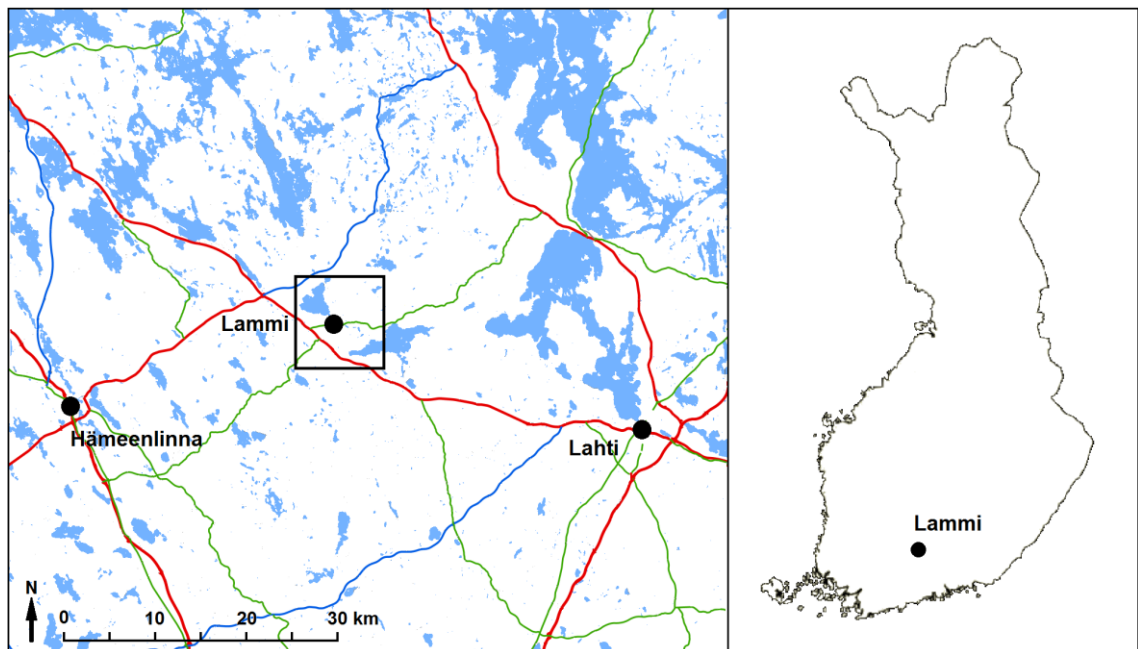
Lammin alue on paljastunut perääntyvän jään alta nuoremman dryaksen lopussa. Alue kuuluu Toiseen Salpausselkään, joka muodostui noin 11 590 cal. BP (*calibrated years before present*, kalibroituja vuosia ennen nykyhetkeä) (Saarnisto ja Saarinen 2001), nuoremman dryaksen kylmän ajanjakson aikana, jolloin jäätikön perääntyminen hidastui ja jäätikön eteen kerrostui runsaasti sedimenttejä. Saarniston et al. (1994) mukaan Toisen Salpausselän muodostuminen kesti noin 181 vuotta. Baltian jääjärven vedenpinta oli Lammin alueella tuolloin korkealla, koska Itämeren allas oli patoutunut maankohoamisen ja jäätikön vaikutuksesta (mm. Björck 1995, Wohlfarth et al. 2008).

Baltian jääjärvivaihe päättyi jäätikön peräännyttyä Toiselta Salpausselältä, kun Itämeren altaasta vapautui yhteys Pohjanmereen ja vedenpinta laski nopeasti, noin 1–2 vuodessa, 25 metriä valtameren pinnan tasoon (Jakobsson et al. 2007). Toisen Salpausselän deltojen korkeuden muutos Salpausselän proksimaalipuolella on joillain alueilla noin 28 metriä (Donner 1978). Vedenpinnan yläpuolelle jääneet alueet joutuivat välittömästi eolisen eroosion vaikutuksen alaisiksi ja pysyivät eolisen aktiivisuuden piirissä, kunnes kasvillisuus vakiinnutti sedimenttikerrokset. Núñez ja Alhonen (1974) arvioivat Lammin lössin kerrostumisen kestäneen noin 500–1000 vuotta, kun Rainio (1997) puolestaan arvioi kerrostumien muodostuneen muutaman vuosikymmenen aikana, kunnes peittävä kasvillisuus levisi alueelle.

Lammin lössi on yleisesti hyväksytty käsite, vaikka kerrostuman alkuperää ei ole tutkittu riittävästi nykyaikaisin sedimentologisin menetelmin. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää miten Lammin lössinä tunnettu sedimenttikerros sopii lössin määritelmiin, millaisia piirteitä Lammin lössin rakeista voidaan havaita ja missä laajuudessa ja miten Lammin lössi esiintyy Lammin alueella. Kerrostumia tutkitaan raekoostumuksen ja muiden sedimentologisten ominaisuuksien, esiintyvyyden ja pintarakenteiden avulla ja verrataan muihin lössikerroksiin eri puolilla maailmaa. Tutkimuksen tavoitteena on todentaa Lammin lössin olemassaolo ja sen eolinen alkuperä.

2. TUTKIMUSALUE

Tutkimusalue sijaitsee Lammilla, Etelä-Suomessa, noin Hämeenlinnan ja Lahden puolessavälissä (Kuva 1.). Tutkimusalueena oli karttalehden 2134 04 alue, mutta havainnointikohteiden joukossa oli myös kolme pistettä karttalehden ulkopuolelta, joista yksi, dyynialue, otettiin mukaan sedimentologisten ominaisuuksien vertailukohteeksi. Tutkimusalue on painottunut Ormajärven (94,1 metriä merenpinnan yläpuolella (mmpy)) etelä- ja kaakkoispuolelle ja rajautuu kaakkoispuolelta Pääjärveen (102,9 mmpy).



Kuva 1. Lammin sijainti Suomessa ja tutkimusalue (neliö).

Lammin tutkimusalue kuuluu Toisen Salpausselän vyöhykkeeseen, jolla esiintyy runsaasti paksuja jäätikön muodostamia moreeni-, sora- ja hiekkakerrostumia, sekä alavilla alueilla laajoja hienoa hiekkaa ja silttiä olevia kerrostumia (Haavisto-Hyvärinen et al. 1984). Alueella on useita pitkittäisharjuja ja niihin liittyviä deltatasoja, joista suuri osa on kerrostumisajankohtana vallinneen Baltian jääjärven BIII-tason korkeudella, noin 162 mmpy. Karttalehden luoteisosan kerrostumat ovat muodostuneet Baltian

jääjärven pinnan laskun jälkeen, jolloin veden pinta oli noin 135 mmpy. Tutkimusalueen korkeuserot vaihtelevat noin 94–180 mmpy. Ormajärvi ja sen ympäristö muodostavat matalimmat alueet ja korkeimmat ovat yksittäisiä, osin moreenipeitteisiä kallioita. Korkeimmat alueet ovat painottuneet tutkimusalueen eteläosiin, Pääjärven läheisyyteen ja järvestä länteen.

Tutkimusalueen kallioperä koostuu pääasiassa paleoproterotsooisista kiillegneisseistä, amfiboliiteista, granodioriiteista, gabroista ja graniiteista. Tutkimusalue on pohjoispuoleltaan lähes pelkästään kiillegneissejä, joissa on sulkeumina vaihtelevasti suonigneissisiä, graniittijuovia ja kvartsi-maasälpäliusketta välikerroksina. (Laitakari 1964)

Lammin pappilan sääaseman vuosien 1964–2015 säätilaston mukaan Lammin vuoden keskilämpötila on 4,1 C° ja keskimääräinen sademäärä 634 mm vuodessa (Ilmatieteen laitos 2016a). Lammin alueen maaperä on hyvin suotuisa kasvillisuudelle ja iso osa alavammista alueista on viljelyskäytössä. Alueen vallitseva metsätyyppi on tuore kangas, jonka lisäksi Lammilla esiintyy yleisesti lehtoja, lehtomaisia metsiä ja kuivahkoja kankaita. Yleisin metsäpuulaji on kuusi, kuivemmilla alueilla mänty. Lehdoissa tavataan jaloista lehtipuista lehmusta ja pähkinäpensasta. (Soveri 1933)

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Kenttähavainnointi ja näytteet

3.1.1 Kenttähavainnointi

Kenttähavainnointi painottui Lammin karttalehden (numero 2134 04) alueille, jotka olivat noin 140 mmpy tai korkeammalla. Nämä alueet olivat vedenpinnan yläpuolella lössin oletettuna kerrostumisaikana, pian alueen vapauduttua jäädästä. Potentiaalisten

lössiesiintymien etsintä aloitettiin karttatarkastelulla. Kohteiden esivalinnassa hyödynnettiin myös Maija Haavisto-Hyvärisen maaperäkartoituksessa hankkimaa aluetuntemusta. Lössikerrostumien etsinnässä ja havainnoinnissa käytettiin apuna maaperäpiikkejä, lapioida, lastoja, kaatuneiden puiden esille nostamaa maa-ainesta, pienten teiden penkereitä ja pähkinäpensaiden esiintyvyyttä. Pähkinäpensaat viihtyvät rinteissä, lössin kaltaisessa hienorakeisessa maa-aineksessa (Palmu 2012)

Lössisedimenttien paksuutta ja horisontaalista laajuutta tutkittiin maaperäpiikkien ja havaintokuoppien tai sedimenttiseinämien avulla. Kohteista kirjattiin ylös koordinaatit, korkeus merenpinnasta, alueen kuvailu ja esiintymän kuvailu. Korkeuden arvioimiseen käytettiin GPS-korkeutta ja maastokarttaa. Korkeustieto tarkistettiin Lammin alueen 2x2 metrin laserkeilausaineiston (LIDAR) pohjalta. Esiintymästä kirjattiin ylös kerrostuman esiintymisalueen laajuus ja paksuus, sekä sijoittuminen maastoon. Sedimentistä kuvattiin raekoko, lajittuneisuus, rakenteet, kontaktit ja Munsell-väri tuoreesta ja kuivasta sedimentistä.

Kenttähavainnointi tehtiin kesien 2012 ja 2013 aikana. Havainnointikohteiden koordinaatit ja kohteiden korkeudet paikkatietoaineistojen mukaan ovat esitettyinä Taulukossa 1. Tässä työssä käytetään tutkimuksen kohteena olevista Lammin silttikerroksista puhuttaessa vakiintunutta nimitystä "Lammin lössi".

3.1.2 Näytteet

Näytteitä otettiin lapiolla maahan kaivetusta kuopasta tai lastalla puhdistetusta seinämästä kohdista, joissa lössikerros oli tarpeeksi paksu edustavan näytteen saamiseksi. Niistä kohteista, joissa havaittiin kaksi tai useampi lössimäinen kerros päällekkäin, otettiin yksi näyte kustakin kerroksesta. Näytteiden massa vaihteli noin 0,4–1,2 kg ja näytesyvyys 0,15–0,75 m sedimentin pinnasta. Näytteet säilytettiin tiiviisti suljetuissa minigrip-pusseissa kylmässä kuivumiseen asti, jonka jälkeen näytteet säilytettiin suljetuissa minigrip-pusseissa huoneenlämmössä. Näytteet ovat peräisin harjuilta, moreenimäiltä, deltoilta ja kalliolta, ja edustavat Lammin alueen lössimuodostumia melko kattavasti.

Taulukko 1. Tutkimuskohteiden koordinaatit alueittain, kohteiden korkeus laserkeilausaineiston mukaan ja kohdepisteen numero korkeuskartalla.

Havainnointikohde	Koordinaatit (EUREF FIN)		Korkeus, mmpy	Kohde kartalla
	N	E		
Delta-alue				
Karhunlähteenpelto	6771907,651	388931,183	157	2
Mataramäki	6770651,9	389151,43	150	3
Mataramäki, soranottoalue	6770536,045	388897,161	158	4
Santala	6770051,409	389556,936	154	5
Kilparisti	6770803,174	389957,535	161	6
Outsilta	6771361,473	390522,577	143	7
Naulitunmäki	6768880,893	390620,51	139	8
Naulitunmäki A	6768825,916	390703,477	152	9
Naulitunmäki B	6768730,956	390863,412	161	10
Untulanharjun harjujakso				
Untulanharju C	6774537,618	392313,802	127	11
Untulanharju C	6774629,58	392283,814	127	12
Untulanharju A	6774170,427	392507,616	127	13
Untulanharju B	6774268,728	392447,749	117	14
Onnenvuori A	6772346,885	394458,938	124	15
Onnenvuori B	6772306,54	394462,232	126	16
Yksittäiset mäet ja dyynialue				
Vanha Niinimäki	6770630,724	381227,602	145	1
Kivisillanmäki (näyte)	6771658,799	393958,147	160	17
Kivisillanmäki	6771607,821	394013,125	155	18
Ronninmäki	6772715,668	396749,479	166	19
Ristimäki	6772783,805	396748,473	166	20
Huolioistenmäki	6780473,414	395085,009	155	21
Pienistö	6782306,51	393835,439	118	22

3.2 Kuivaseulonta

Näytteet kuivaseulottiin yli 2 mm fraktion erottamiseksi ja elektronimikroskooppianalyysiin (*scanning electron microscope*, SEM) tarvittavien 0,25–0,5 mm fraktioiden saamiseksi. Suuren hienoainemäärän vuoksi kuivaseulontaa ei käytetty raekokojakauman selvittämiseen.

Ennen kuivaseulontaa kuivatetusta, seulomattomasta näytteestä otettiin noin 70–140 g sivuun laseranalyysiä varten. Lämpökaapissa, lämpötilassa 105 °C, yön yli kuivatettu näyte seulottiin seulasarjalla, joka sisälsi 1,40; 1,00; 0,71; 0,50; 0,30 ja 0,25 mm seulat. Seuloja 2,00 ja 4,00 mm käytettiin tarvittaessa. Pyen (1995) mukaan lössin raekokojakaumasta keskimäärin vähintään 50% on silttiä (2–63 µm). SEM-analyysiin tarvittavan raekoon suhteellisen vähyiden vuoksi näytteet seulottiin kokonaan yli 0,25 mm fraktioiden osalta.

Näytteissä olevia kasvinosia poistettiin seulomisen yhteydessä ja seulalle jääviä paakkuja paineltiin rikki sormella. Näytteiden hienoainespainotteisuuden vuoksi näytteitä tärisytettiin aluksi 30 minuuttia, jonka jälkeen tärisyttäminen tehtiin käsin tarpeen mukaan. Pienempisilmäisillä seuloilla seulakohtainen tärisyttäminen oli välttämätöntä suuren ainesmäärän vuoksi. Kunkin seulan rakeet punnittiin ja säilöttiin minigrip-pusseihin. Kuivaseulonta-analyysit tehtiin kesällä 2012 ja kesällä 2013.

3.3 Raekokoanalyysi laserdiffraktiometrillä

Raekokoanalyysit tehtiin suspensiossa Malvern Mastersizer 2000 raekokoanalysaattorilla. Ajoasetuksina käytettiin seuraavia: pumppu 2100 kierrosta/min, sekoittaja 550 kierrosta/min, partikkelitiheys 2.600 ja jatkuva ultraääni 10% amplitudilla. Laitteen mittausalue on 0,2–2000 mikrometriä. Laite mittaa rakeen tilavuuden tulkitsemalla lasersäteen läpi kulkeneen rakeen aiheuttamaa valon siroutumisen intensiteettiä. Rae tulkitaan pallon muotoiseksi ja sen halkaisija määräytyy sen mukaan, missä asennossa detektorit ovat havainneet rakeen mittaushetkellä.

Laserilla tehtävää raekokoanalyysiä varten esikäsiteltiin noin 15 g kuivatettua näytettä, josta oli poistettu yli 2 mm:n fraktio. Esikäsittelyn tarkoituksena oli orgaanisen aineksen poistaminen näytteestä todenmukaisemman raekokojakauman saamiseksi. Esikäsittelyssä sedimentistä rikottiin paakut sormin ja poistettiin näkyviä kasvinosia pinseteillä. Orgaaninen aines poistettiin hauduttamalla näytettä 30% vetyperoksidissa (H₂O₂), hieman alle kiehumislämpötilassa. Näytteiden haudutusaika ja

vetyperoksidilisäysten määrä vaihteli näytteen orgaanisen aineksen määrästä riippuen. Kuumennus ja lisäys lopetettiin, kun kuohuntareaktiota ei enää havaittu ja näytteen annettiin jäähtyä. Jäähdytyksen ja 8 ml 10% suolahappolisäyksen (HCl) jälkeen näyte kiehautettiin, laimennettiin 200–250 ml:aan, annettiin laskeutua yön yli ja dekantoiitiin noin 50–100 ml:aan. Näytteeseen lisättiin 15–25 ml 0,005 M natriumpyrofosfaattia ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) paakkuuntumisen estämiseksi ja näyte säilöttiin kylmään odottamaan analyysiä. Näytteiden mahdolliset paakut hajotettiin ulkoisella ultraäänellä ennen analyysiajoa. Laserdiffraktiometrianalyysit tehtiin useassa osassa vuosien 2012–2015 aikana, kukin näyte alle kuukauden kuluessa näytteen esikäsittelystä.

Kunkin näytteen raakoostumuksen kuvaamiseksi mittaustuloksista laskettiin rakeisuusjakaumaa kuvaavat lajittuneisuus, symmetrisyysvakio ja aritmeettinen huipukkuuskerroin sekä eolisen kerrostumisympäristön energiaolosuhteita kuvaava U-ratio.

Lajittuneisuus (S_o) kuvaa sedimentin painottuneisuutta yhteen raekokoluokkaan ja sen läheisyyteen.

$$S_o = \sqrt{P75/P25}$$

missä P25 = läpäisyprosenttia 25 vastaava raekoko (mm)

P75 = läpäisyprosenttia 75 vastaava raekoko (mm)

ja $S_o < 1,2$, aines on erittäin hyvin lajittunutta

$S_o = 1,2-1,49$, aines on hyvin lajittunutta

$S_o = 1,5-2,0$, aines on kohtalaisesti lajittunutta

$S_o > 2,0$, aines on huonosti lajittunutta.

Symmetrisyysvakio (S_k) kuvaa vinoutuneisuutta eli rakeisuuskäyrän vinoutta kohti raekokojakauman toista päätä.

$$S_k = \frac{P75 \times P25}{(P50)^2}$$

missä P50 = läpäisyprosenttia 50 vastaava raekoko (mm)

ja $S_k > 1,0$, karkeat lajitteet vallitsevat, hienompi kvartiili on paremmin lajittunutta

$Sk < 1,0$ hienot lajitteet vallitsevat ja karkea kvartiili on paremmin lajittunutta.

Aritmeettinen huipukkuuskerroin (K) kuvaa yleisimmän raekokoluokan määrää ja ulottuvuutta.

$$K = \frac{P75 - P25}{2(P90 - P10)}$$

missä $P10$ = läpäisyprosenttia 10 vastaava raekoko (mm)

$P90$ = läpäisyprosenttia 90 vastaava raekoko (mm)

ja $K < 0,26$ rakeisuusjakauma on normaalia latteampia

$K > 0,26$ rakeisuusjakauma on tavallista jyrkempi

U-suhde on kahden raekokoluokan välinen suhde, joka lasketaan kaavalla:

$$U = \frac{16 - 44 \mu m}{2 - 6 \mu m}$$

Korkeammat arvot indikoivat voimakkaampia tuulia ja pienemmät heikompia tuulia. U-suhdetta on käytetty tuulen voimakkuuden indikaattorina, mutta sitä voi hyödyntää tuuliolosuhteiden ja ilmastomuutoksen lisäksi kerrostumisympäristön selvittämisessä vertailunäytteiden avulla (Vandenberghe et al. 1985).

3.4 SEM-kuva-analyysi

Lössin rakeiden pintarakenteiden ja kulkeutumisympäristön määrittelemiseksi rakeita kuvattiin JEOL JSM-T330 elektronimikroskoopilla ja Jeol JXA-8600 elektronimikroanalysaattorilla (*electron probe microanalyzer*, EPMA). SEM:n toiminta perustuu tyhjiössä olevan näytteen pommittamiseen fokusoidulla elektronisuihkulla, mikä aiheuttaa sekundääristen elektronien emittoitumisen näytteen pinnasta. Sekundäärielektroneista muodostuu kuva niiden imeytyessä detektorin metalliverkkopinnalle. Kuvan suurennos vaihteli 95–350 kertaisen välillä riippuen rakeen koosta. Kiihdytysjännite oli kuvatessa 15 kV.

Kuvien analysointi perustui rakeiden pintarakenteiden visuaaliseen luokitteluun. Kukin kulkeutumisympäristö jättää sille tyypillisen pintarakenteiden seurueen ympäristössä kulkeutuvan rakeen pinnalle (mm. Krinsley ja Doornkamp 1973, Mahaney 2002). Kullekin kulkeutumisympäristölle tyypillisten pintarakenteiden yhteispinta-alat laskettiin näkyvässä osassa raetta. Suhteuttamalla nämä rakeen näkyvän osan kokonaispinta-alaan, saatiin kunkin kulkeutumisympäristön prosenttiosuus rakeessa. Laskuissa huomioitiin epätarkat ja toisella, irrallisella rakeella peittyneet alueet, jolloin pintarakenteita ei voinut nähdä. Pintarakenteiden visuaalinen arviointi perustui Krinsley ja Doornkampin (1973), sekä Mahaneyn (2002) pintarakenneluokituksiin.

Analyysiä varten pestiin kuivaseulotun näytteen raekoon 0,25–0,5 mm rakeista 50,0 g tai vähemmän, jos rakeita oli alle 50,0 g. Rakeet huuhdeltiin ioninvaihtovedellä ja kuivatettiin lämpökaapissa, 105 °C lämpötilassa yön yli. Rakeiden joukosta poimittiin kvartsirakeita pistemenetelmällä, valomikroskooppia avuksi käyttäen. Pistemenetelmässä käytettiin avuksi paperia, jossa oli pisteruudukko 1 cm ruuduilla. Paperin päällä olevan lasilevyn päälle levitetyistä rakeista valittiin aina se rae, joka osui lähimmäs pistettä ja näytti kvartsilta. Rakeiden valintamenetelmän tavoitteena oli varmistaa satunnaisuus otannassa.

Rakeita poimittiin noin 24 kpl kustakin analysoitavasta näytteestä. Rakeet asetettiin riviin näytejalustalla olevalle hiiliteipille ja hiilipäällystettiin kuvausta varten. Jalustaan maadoitettu hiilipäällystys estää elektronivarauksen kertymisen sähköä johtamattomiin rakeisiin, mikä muuten aiheuttaisi häiriöitä kuvassa.

Rakeista valittiin kuvattavaksi ensimmäiset 15 kvartsiraetta. Mineraloginen koostumus tarkistettiin EDS-detektorin (energiadispersiivinen spektrometri, *Energy Dispersive Spectrometer*) ja Link ISIS-ohjelman avulla vähintään kahdesta testipisteestä rakeen pinnalla. Kuvien analysointi tapahtui SemAfore-ohjelmalla.

Pintojen piirteiden lisäksi rakeista mitattiin myös koko ja arvioitiin pyöristyneisyys. Analyysi tehtiin näytteille Onnenvuori A, Onnenvuori B yläosa, Pienistö, Karhunlähteenpelto A yläosa, Kivisillanmäki, Mataramäki ja Outsilta yläosa. Mainituista kolme ensimmäistä kuvattiin SEM:llä ja loput EPMA:lla.

Rakeiden pikkaus ja pyyhkäisyelektronimikroskooppikuvaus tehtiin helmikuussa ja heinäkuussa 2013. Kuvien tulkinta tehtiin huhtikuussa 2013 ja kevään 2015 aikana.

4 TULOKSET

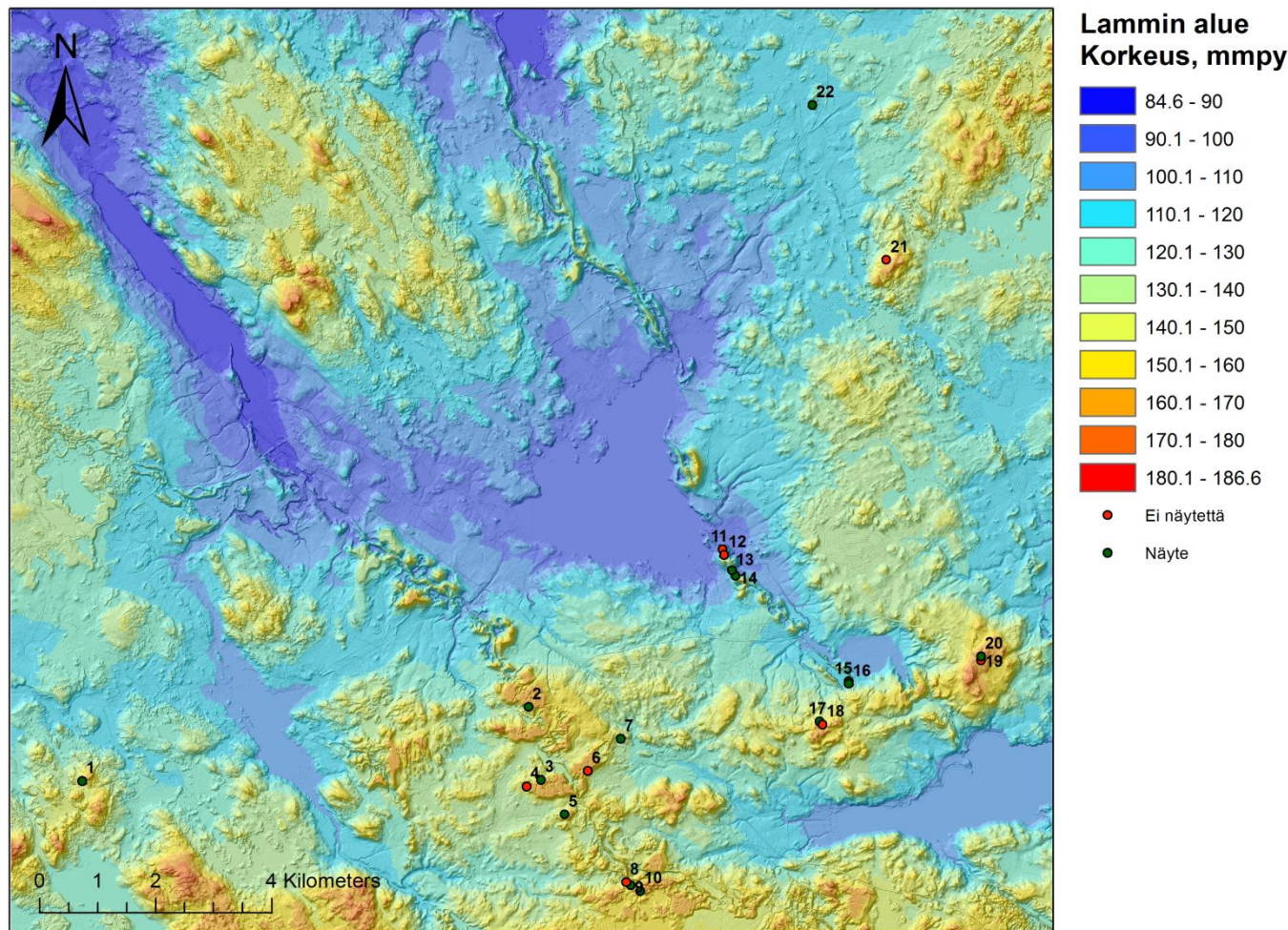
4.1 Kenttähavainnot

Alueellisen tarkastelun helpottamiseksi Lammin alueen kohteet voidaan ryhmitellä eteläisen Lammin delta-alueiden kohteisiin, Lamminharjun kohteisiin ja yksittäisten mäkien kohteisiin (Taulukko 1, Kuva 2). Eteläisen Lammin delta-alueen kohteisiin kuuluvat Karhunlähteenpelto, Outsilta, Kilparisti, Mataramäki, Mataramäen soranottoalue, Santala ja Naulitunmäki. Näiden korkeus vaihtelee 139–161 mmpy. Lamminharjun kohteita ovat Untulanharju ja Onnenvuori, joiden korkeus vaihtelee 117–127 mmpy. Yksittäisinä lössikerroksia edustavina kohteina ovat Huolioistenmäki, Ristimäki, Ronninmäki, Kivisillanmäki ja Vanha Niinimäki. Viimeksi mainittu on alempana, korkeudella 145 mmpy, kun muiden yksittäisten kohteiden korkeus vaihtelee 155–166 mmpy. Yli 162 mmpy olevat alueet ovat Baltian jääjärven ylimmän rannan yläpuolella, noin 162–135 mmpy olevat rinteet ovat paljastuneet Baltian jääjärven laskun yhteydessä ja tätä alempana olevat kohteet ovat paljastuneet Yoldiamerivaiheen jälkeen. Vanha Niinimäki sijaitsee noin Baltian jääjärven laskurajan kohdalla ja on todennäköisesti vapautunut jäästä vedenpinnan nopean laskun jälkeen tai aikana.

4.1.1 Outsilta

Outsillan näyttekohde sijaitsee Lammin keskustan lounaispuolella, Kataloistentien pohjoispuolella (Kuva 3). Kohde oli paljastunut sedimenttiseinämä pellon pohjoisreunan pientareella. Näkyvän paljastuman vertikaalinen ulottuvuus oli 1,1 m ja lateraalinen noin vajaa 200 m. Alueen puusto oli sekametsää.

Paljastumassa oli kaksi kerrosta: 55 cm korkea yläyksikkö ja yhtä korkea alayksikkö (Kuva 4). Ylempi yksikkö, korkeudella 0–55 cm, oli raekooltaan noin siltistä, rakenteetonta ja hyvin lajittunutta. Alempi yksikkö, syvyydellä 55–110 cm, oli hyvin

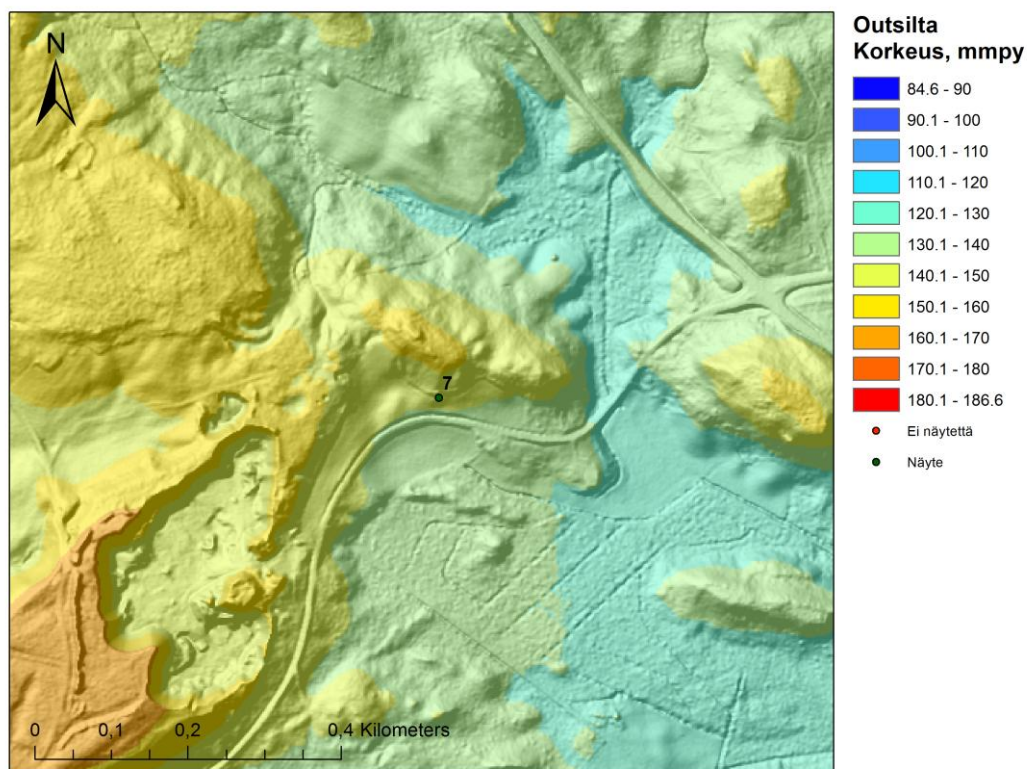


Kuva 2. Lammin alue ja havainnointikohteet LIDAR-korkeuskartalla. (1) Vanha Niinimäki, (2) Karhunlähteenpelto, (3) Mataramäki, (4) Mataramäen soranottoalue, (5) Santala, (6) Kilparisti, (7) Outsilta, (8–10) Naulitunmäki, (11–14) Untulanharju, (15–16) Onnenvuori, (17–18) Kivisillanmäki, (19) Ronninmäki, (20) Ristimäki, (21) Huolioistenmäki ja (22) Pienistö. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.

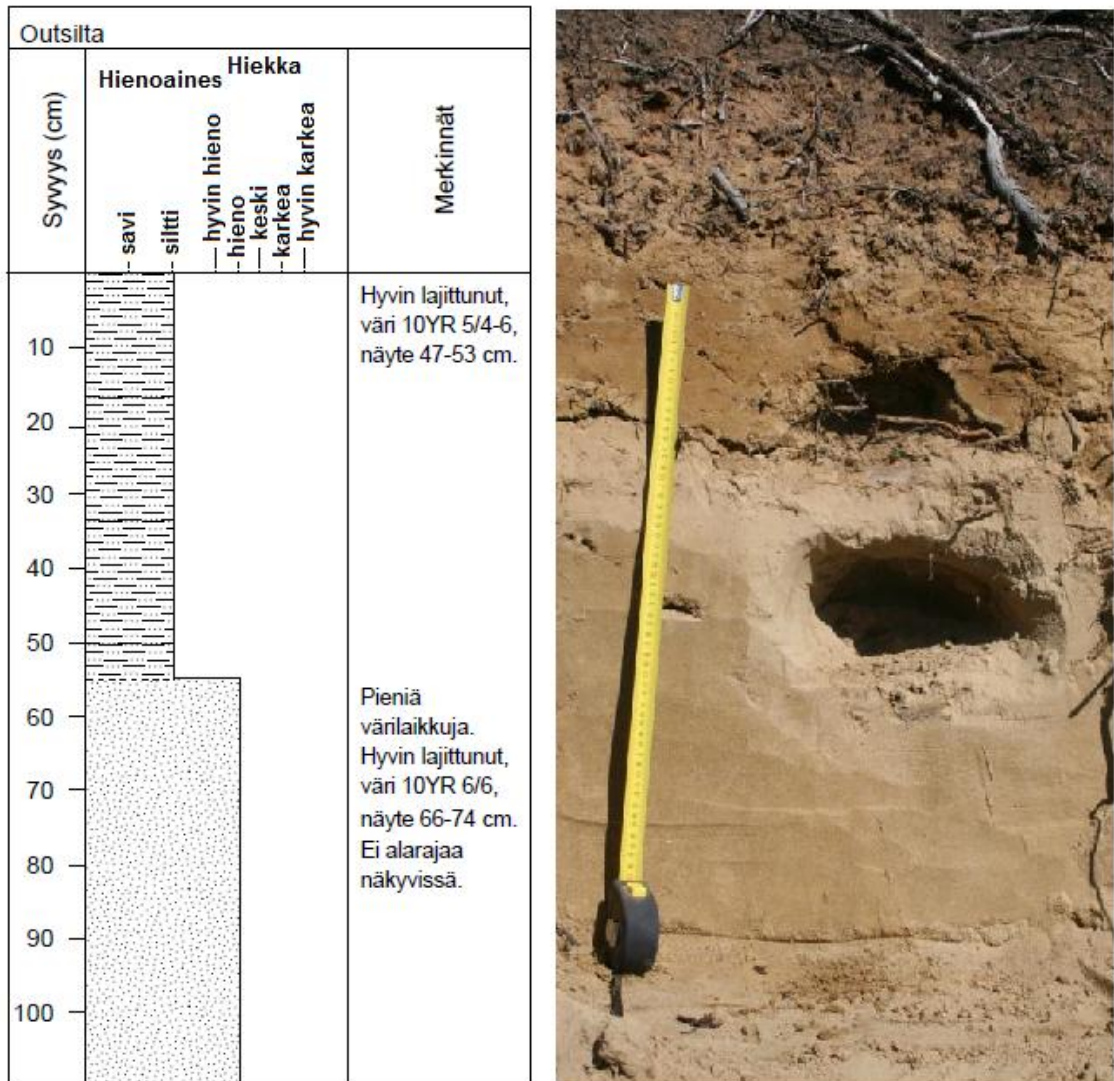
lajittunutta ja rakenteetonta hienoa hiekkaa. Alayksikössä oli pieniä värilaikkuja (mottling), mahdollisesti juurien vaikutuksesta syntyneitä.

Rapautuneessa pinnassa ylä- ja alayksiköiden välinen kontakti oli melko terävä ja värivaihdos selkeä, mutta tuoreessa pinnassa yksiköiden välinen raja näytti vaihettuvammalta. Alemman kerroksen alakontakti ei ollut paljastunut. Kerrosten värit määritettiin jälkikäteen laboratoriossa, näytteen käsittelyn yhteydessä. Yläyksikön sedimentin väri oli tuoreena 10YR 5/4–5/6 (yellowish brown) ja kuivana 10YR 6/6 (brownish yellow). Alayksikön väri oli tuoreena 10YR 6/6 (brownish yellow) ja kuivana 5Y 7/4 (pale yellow).

Paljastumasta otettiin ylempää kerrosta edustava näyte (Outsilta yläosa) 47–53cm syvyydeltä ja alemmaa kerrosta edustava näyte (Outsilta alaosa) 66–74cm syvyydeltä.



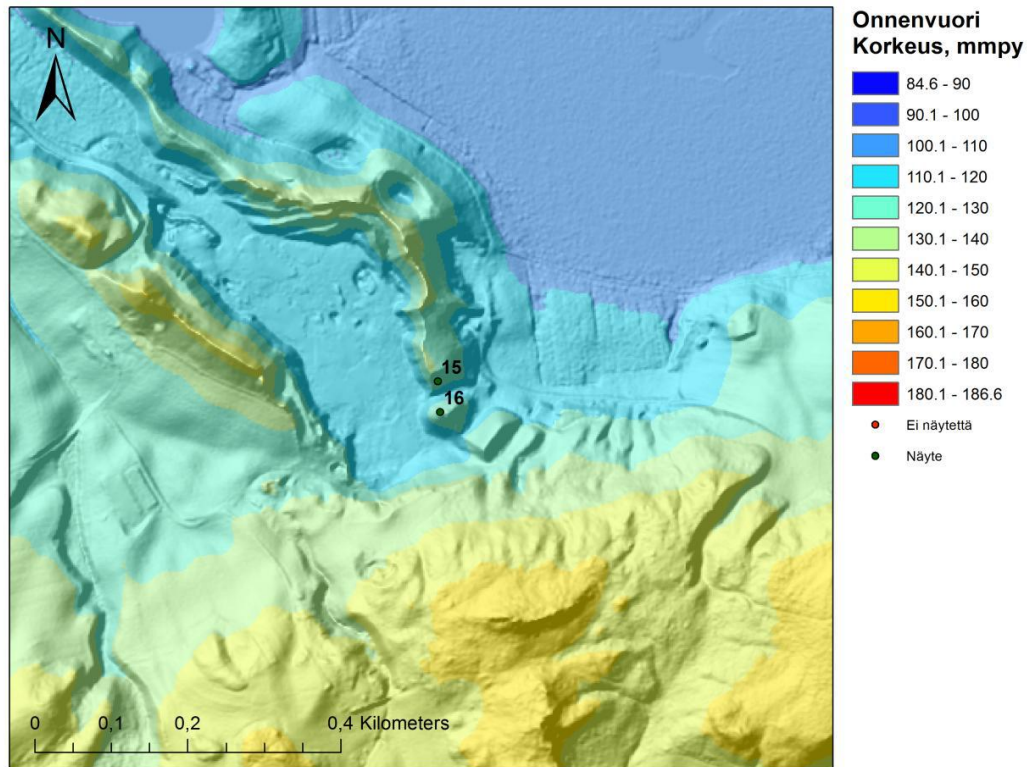
Kuva 3. (7) Outsilta. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.



Kuva 4. Outsillan sedimenttilogi ja leikkauspaljastuma.

4.1.2 Onnenvuori

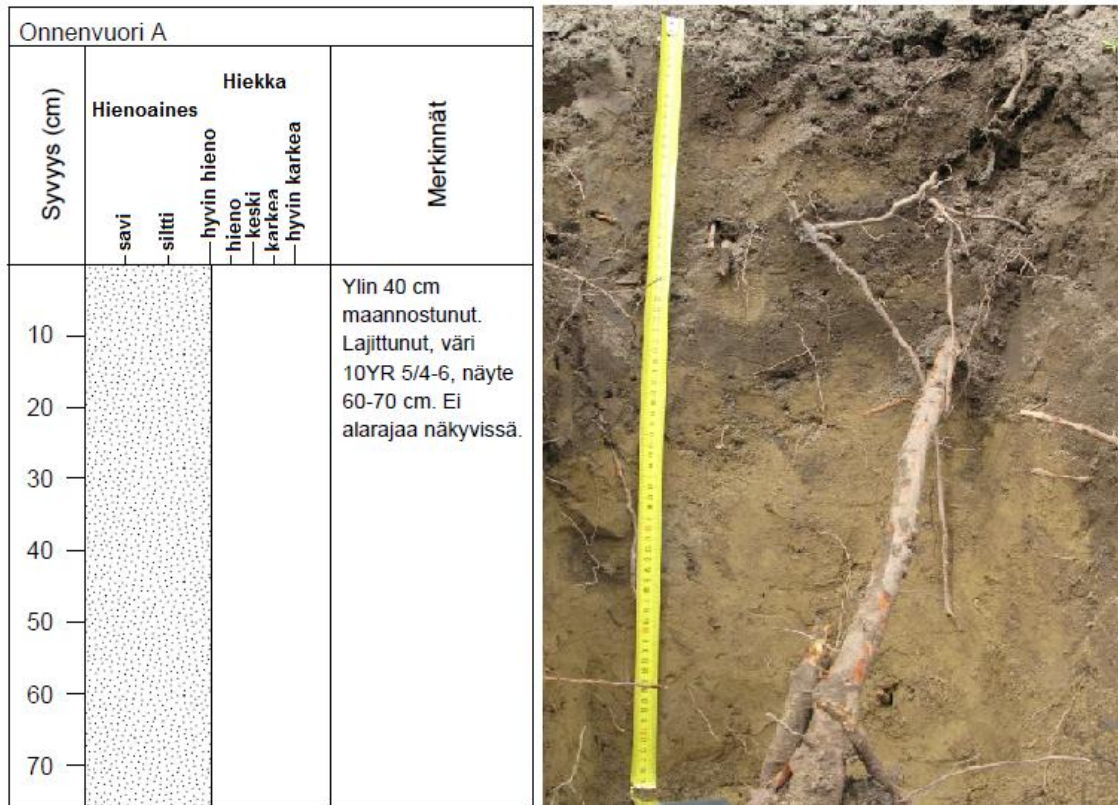
Onnenvuoren havainointipiste sijaitsi Lammin keskustan itäpuolella olevan Onnenvuoren soranottoalueen kaakkoisosissa (Kuva 5). Onnenvuoren soranottoalue on osa luode-kaakko-suuntaista Untulanharjua. Kohteessa oli soranotosta johtuen hyvin nähtävissä deltan ulkoreunan pystyleikkaus ja sitä verhoava lössikerros. Kerros oli paksuudeltaan keskimäärin noin 80cm ja lateraalinen jatkuvuus noin 150 m. Alueella kasvoi sekametsää.



Kuva 5. (15) Onnenvuori A ja (16) Onnenvuori B. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.

Piste Onnenvuori A sijaitsi etelään antavassa rinteessä, hieman soranottoalueen ulkopuolella. Havainnointikohdasta oli poistettu puusto. Rinteeseen avatun paljastuman korkeus oli 76 cm ja leveys noin 40 cm (Kuva 6). Lössikerroksen pohja ei ollut nähtävissä tässä paljastumassa, mutta viereisen poikkileikkauksen perusteella se oli noin 80–90 cm syvyydessä, josta alkoi deltan hiekkaiset kerrokset. Paljastuman ylin osa, 0–40 cm, oli maannostunutta lössimäistä maata ja alempi osa, 40–76 cm, lössiä. Maannoksen ja lössin raja oli melko selkeä, mutta rinteän jyrkästä luonteesta johtuen hyvin vaihteleva.

Lössi oli pääosin karkeaa silttiä. Sedimenttiaines oli rakenteetonta ja lajittunutta. Sedimentin väri oli tuoreena 10 YR 5/4–5/6 (yellowish brown) ja kuivana 10 YR 7/4 (very pale brown). Näytekohdasta Onnenvuori A otettiin yksi näyte 60–70 cm syvyydeltä.



Kuva 6. Onnenvuori A:n sedimenttilogi ja kuva.

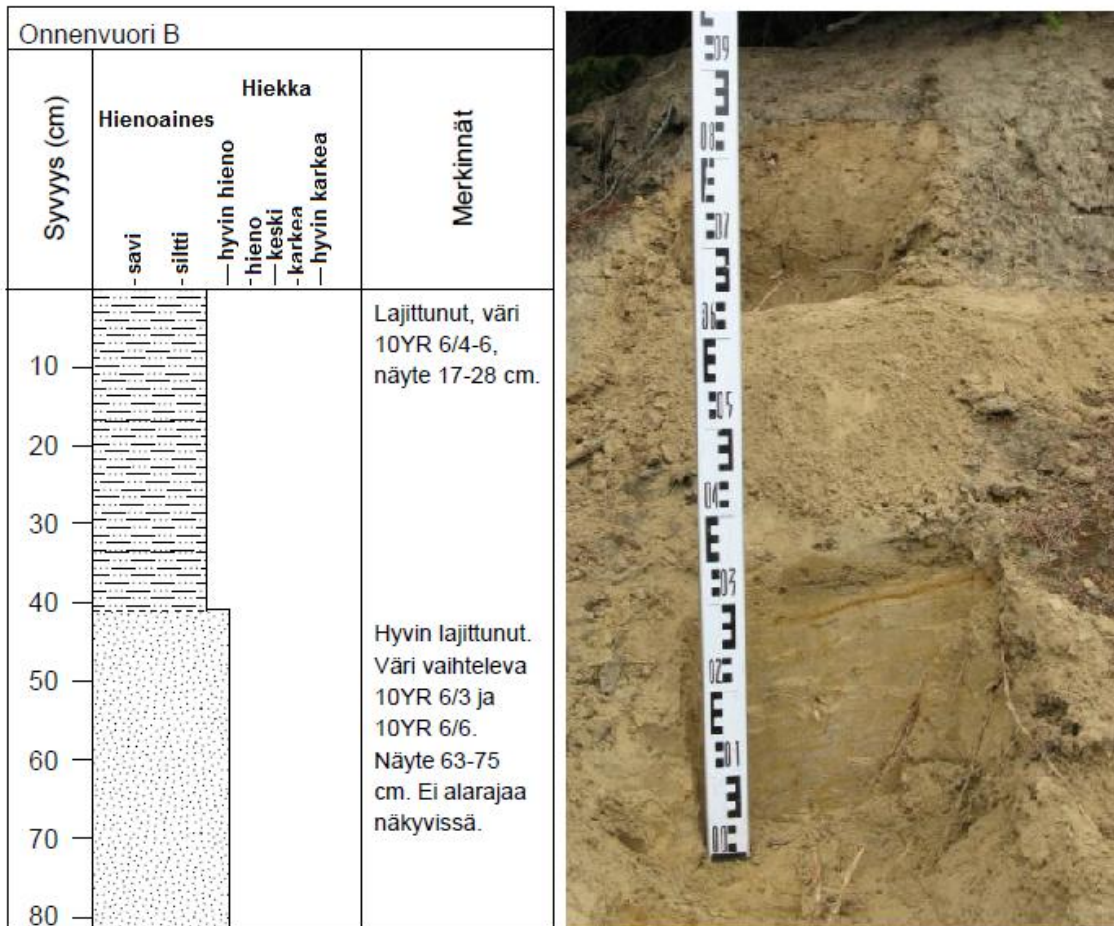
Onnenvuori B sijaitsi pisteestä A noin 50–70m kaakkoon. Paikalle kaivettiin kaksi seinämää, joissa näkyi yläosan lössikerros ja tämän alapuolinen rakenteellinen kerros. Paljastetun osuuden korkeus oli noin 83 cm ja leveys noin 30 cm (Kuva 7).

Yläosan lössi, syvyydellä 0–42 cm, oli rakenteetonta ja lajittunutta karkeaa silttiä. Yläosan ja tämän alapuolisen kerroksen välinen kontakti oli hitaasti vaihtuva.

Alaosa, syvyydellä 42–83 cm, oli hiekkaista silttiä, jossa oli heikkoa kerroksellisuutta. Sedimentti oli lössikerroksen tavoin hyvin lajittunutta. Tarkempaa tarkastelua varten esiin kaivetun osuuden alapuolella oli kerroksellisuuden lisäksi häiriintyneitä kerroksia ja savirikkaita kerroksia hiekkaisissa väreissä ja silttisissä laminoissa. Alemman kerroksen alakontakti ei ollut havaittavissa.

Yläosan sedimentin väri oli kuivana 10 YR 7/3 (very pale brown) ja tuoreena 10 YR 6/4–6/6 (light yellowish brown–brownish yellow). Alaosan sedimentin väri vaihteli harmahtavan ja kellertävän välillä ja vaihtelu oli epämääräistä heti kerrosten kontaktin alapuolella ja muuttui alempana selkeämmin väreitä ja laminoita kuvaavaksi. Alaosan

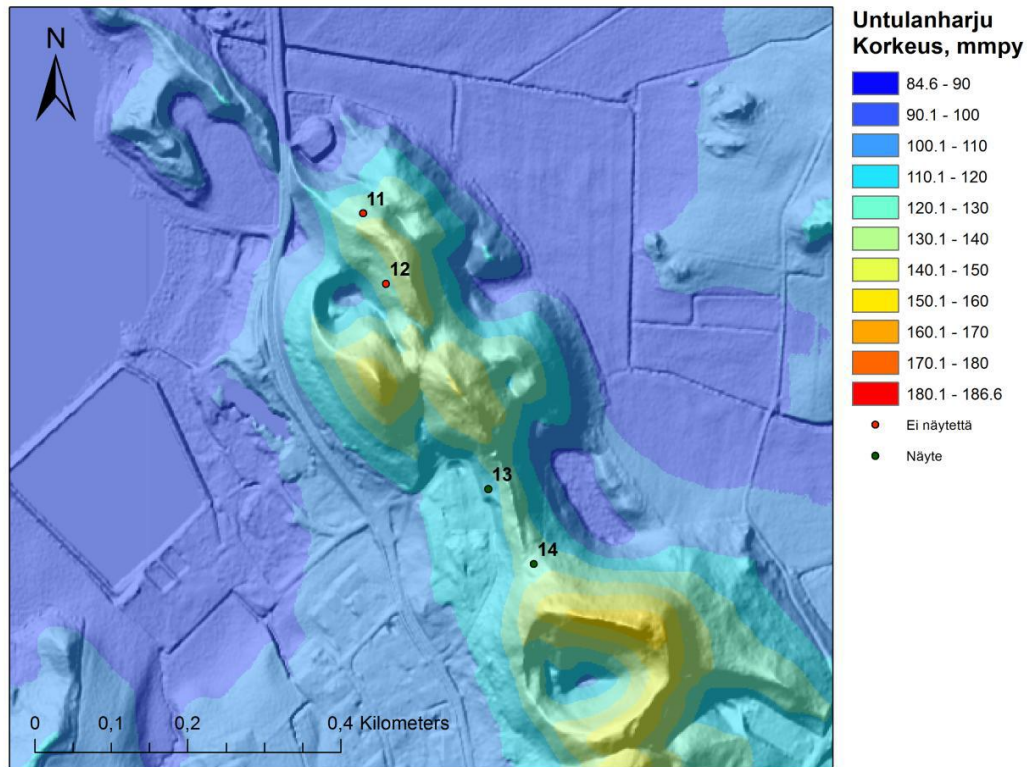
tuoreen sedimentin väri vaihteli 10 YR 6/3 (pale brown) ja 10 YR 6/6 (brownish yellow) välillä. Ylempää, lössikerrosta edustava näyte Onnenvuori B yläosa otettiin 17–28 cm syvyydeltä ja alemmaa kerrosta edustava Onnenvuori B alaosa 65–75 cm syvyydeltä.



Kuva 7. Onnenvuori B:n sedimenttilogi ja leikkauspaljastuma.

4.1.3 Untulanharju

Untulanharjun havainnointikohde sijaitsi Untulanharjulla, Lammin sairaalan itä- ja pohjoispuolella (Kuva 8). Alue oli paikoin kivikkoa ja lössikerros oli painuneena osittain kivien väleihin. Kerrostuman paksuus vaihteli paljon ja oli paksuimmillaan ainakin metrin. Alue oli lehtimetsää ja pähkinäpuulehtoja.

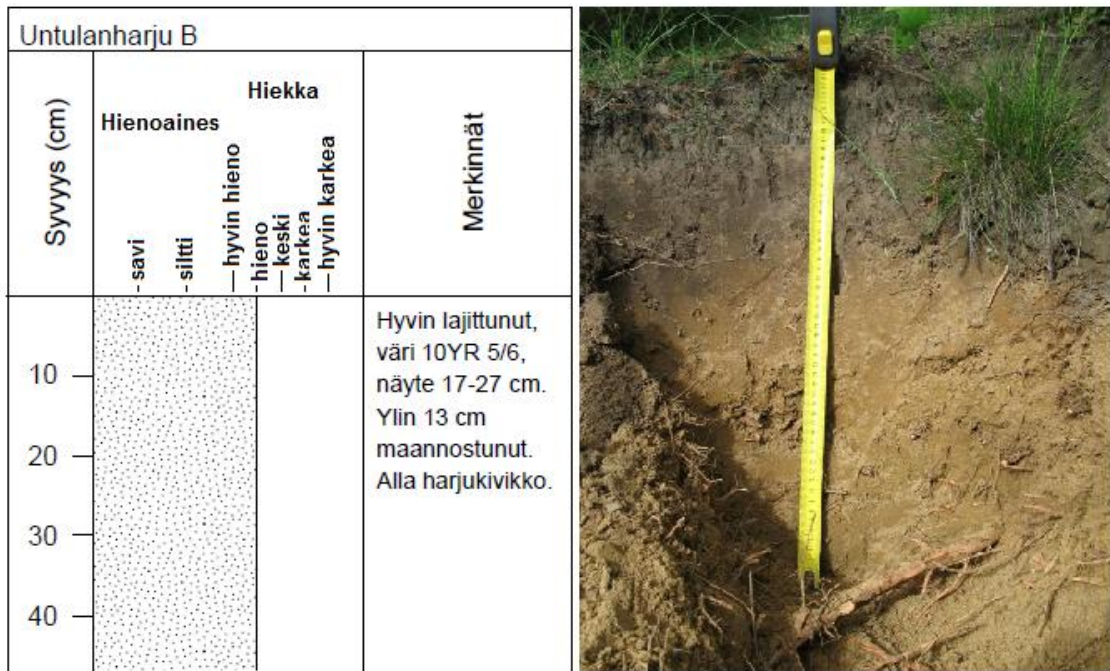


Kuva 8. Untulanharjun havainnointipisteet: (11–12) Untulanharju C, (13) Untulanharju B, (14) Untulanharju A. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.

Untulanharju A:n havainnointipiste sijaitsi Lammin sairaalan itäpuolella (luonnosuojelualueella), pähkinäpensaslehdossa. Sedimentti oli karkeasta siltistä ja hienoon hiekkaan, rakenteetonta ja kohtalaisesti lajittunutta. Pinnan läheisyydessä maannoksen vaikutuksesta rusehtava maa oli syvemmällä selkeämpää lössimaista sedimenttiä. 50 cm syvyydellä sedimentin tuore väri oli 10YR 5/8 (yellowish brown). Pisteestä otettiin näyte (Untulanharju A) noin 20–24 cm syvyydeltä, niukasti maannosrajan alta.

Untulanharju B:n havainnointipiste sijaitsi myös sairaalan itäpuolella, pisteestä A noin 100m pohjoiseen, jyrkän rinteiden yläreunassa. Paljastuma oli pieni, 47 cm syvä leikkaus harjun yläosaan. Paljastuman ylin 13 cm oli maannostunut (Kuva 9). Lössikerros, 0–34 cm syvyydellä, oli pääosin hienohiekkainen, massiivinen ja hyvin lajittunut. Kerroksen alla oli harjukivikkoa, jonka väleihin lössi oli painunut.

Lössikerroksen tuore väri oli 10YR 5/6 (yellowish brown) ja kuiva väri (10YR 6/4–6/6 (light yellowish brown–brownish yellow). Pisteestä otettiin näyte (Untulanharju B) 17–27 cm syvyydeltä.



Kuva 9. Untulanharju B:n sedimenttilogi ja kuva kerrostumasta. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.

Untulanharju C:n havainnointialue oli noin 450 m Untulanharju A:n pisteestä luoteeseen. Havainnointi tehtiin pelkästään maaperäpiikin avulla. Lössä oli alueella vaihtelevasti, enimmillään noin 30–40 cm paksuisena kerroksena. Hienoa-/keskihiekkaa ja silttiä sisältävä lössi verhoili harjusoraa ja kivikkoa Ormajärven puolella Untulanharjua. Lössä oli usein painuneena kivilohkareiden väleihin. Paikalta ei ole näytettä.

4.1.4 Ristimäki

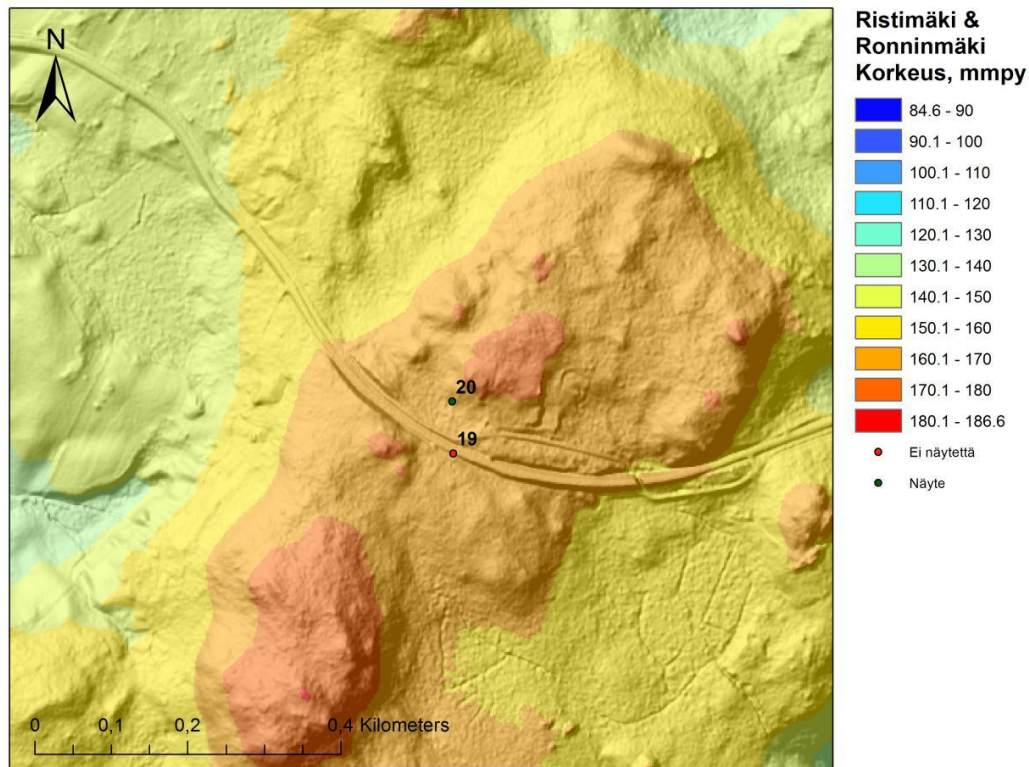
Ristimäen havainnointikohde sijaitsi noin 4,5 km Lammin keskustasta itään, noin 30 metriä Ronnintien pohjoispuolella (Kuva 10).

Lösssedimentin keskimääräinen syvyys maaperäpiikillä oli n. 50–60 cm. Tarkempi havainnointi tehtiin lapiolla kaivetusta, 30 cm syvästä kuopasta (Kuva 11).

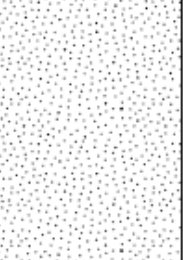
Massiivisessa hieno-/keskihiekassa oli harmaita klasteja, jotka olivat halkaisijaltaan noin 1–3 cm ja vaihtelevan muotoisia. Klastit olivat raekooltaan hienon siltin ja hienon hiekan seosta. Harmaita klasteja oli havaittavissa enemmän esiin kaivetun paljastuman alaosassa. Sedimentin yläosassa oli muutaman millimetrin paksuisia, pieniä savea-hienoa silttiä olevia linssejä.

Paljastuman ylemmän osan väri oli tuoreena 10YR 5/6 (yellowish brown). Paljastuman alemman osan kellertävämmän sedimentin väri oli tuoreena 10YR 5/6 (yellowish brown) ja kuivana 10 YR 6/4 (light yellowish brown), kun harmaan osan väri oli tuoreena 10 YR 5/1 (gray) ja kuivana 10 YR 7/2 (light gray).

Havainnointikohteesta otettiin kaksi näytettä: kellertävänsävyisestä yläosasta 5–13 cm syvyydeltä (Risrimäki yläosa) ja alemmasta, kirjavasävyisestä osasta 20–27 cm syvyydeltä (Ristimäki alaosa).



Kuva 10. (19) Ronnimäki ja (20) Ristimäki. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.

Ristimäki			
Syvyys (cm)	Hienoaines		Merkinnät
	-savi	-siltti	
		hyvin hieno	
		-hieno	
		-keski	
		-karkea	
		hyvin karkea	
10			Harmaita, vaihtelevan muotoisia, halkaisijaltaan 1-3 cm, hieno siltti-hieno hiekka klasteja kellertävämmässä, rakenteettomassa, hieno-keski hiekassa. Klasteja enemmän alaosassa. Kellertävän yläosan väri 10YR 5/6, harmaan klastin 10YR 5/1, näyte yläosa 5-13 cm, alaosaa 20-27 cm. Yläosassa savisia linssejä. Ei alarajaa näkyvissä.
20			

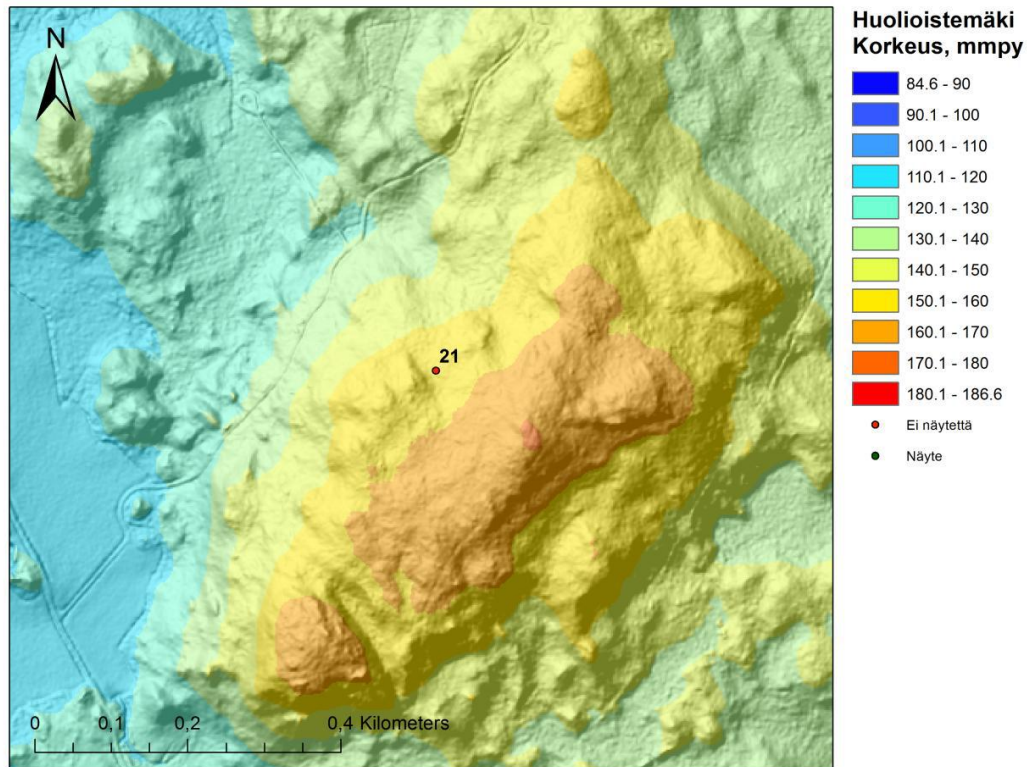
Kuva 11. Ristimäen sedimenttilogi.

4.1.5 Ronninmäki

Ronninmäen havainnointikohde sijaitsi Ronnintien eteläpenkereellä, Ristimäen kohdalla (Kuva 10). Havainnointi tehtiin maaperäpiikillä ja lapiolla. Lössikerrosta oli noin 10 cm ja tämän alla harmaasävyinen, kivinen moreeni. Lössikerroksen ylin osa oli maannostunut ja maannostuneen osan ja moreenin väliin jäi vain pari senttiä selkeämpää lössisedimenttiä. Sedimentin tuore väri oli 10 YR 5/6 (yellowish brown). Kohteesta ei ole näytettä.

4.1.6 Huolioistenmäki

Huolioistenmäen kohde sijaitsi Lammin keskustasta noin 7 km pohjoiseen, Huolioistenmän luoteisrinteellä, Pienistöntien kaakkoispuolella (Kuva 12). Rinteen alaosat kasvoivat kuusta ja vaihettuivat lehtipuihin ja pähkinäpensaisiin noin 150 m mpy ja siitä ylemmäs mentäessä. Pähkinäpuiden korkeudelta alkoi myös



Kuva 12. (21) Huolioistenmäki. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.

lössisedimentin esiintyminen, noin korkeudesta 150 mmpy ylöspäin. Korkeudesta 160 mmpy alkaen kerrosta ei voinut havaita koneellisen metsähuollon vaikutusten takia. Rinteen moreenia ja kivikkoa verhoili paksuimmillaan keskimäärin 20 cm oleva lössikerros, joka oli usein painuneena kivien koloihin.

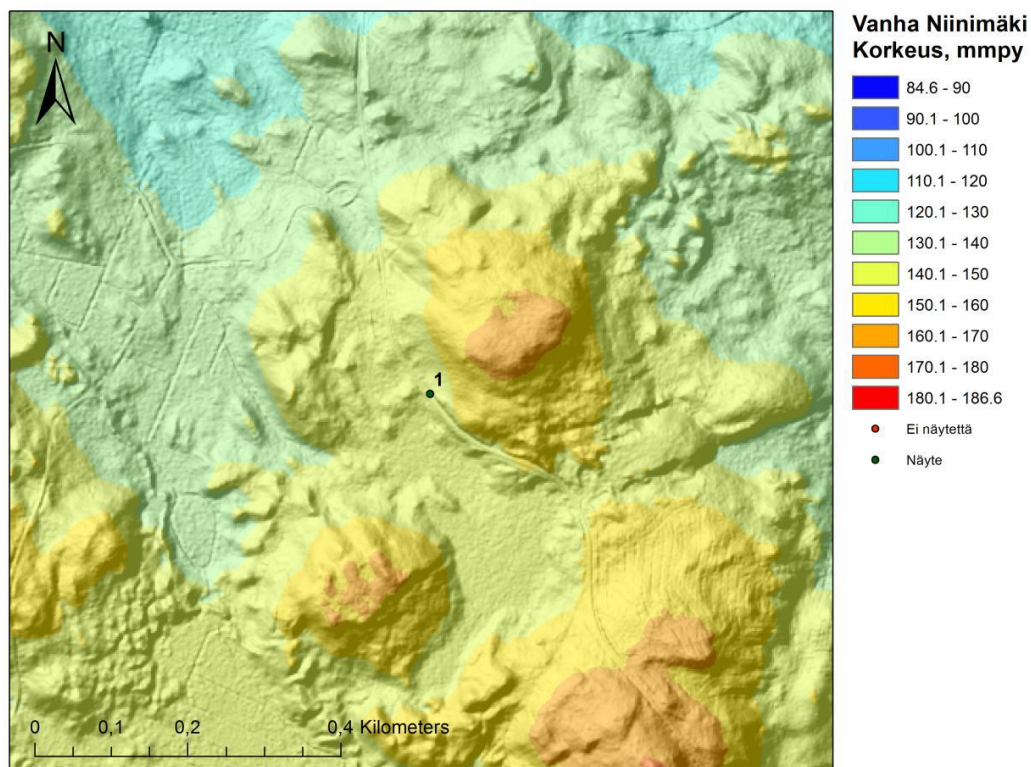
Huolioistenmäen lössisedimentti oli rakenteetonta hienoa hiekkaa ja joissain kohdin yli 10 cm syvyydellä oli pieniä, halkaisijaltaan 3–10 cm kiviä ja muita alapuoliseen moreeniin viittaavia piirteitä. Sedimentti oli maannostunut pintaosista. Kohteen sedimentistä ei tulkittu Munsell-väriä, maannoksen alapuolella värisävy oli muihin kohteisiin verrattavan kellertävän sävyistä. Kohteesta ei otettu näytettä.

4.1.7 Vanha Niinimäki

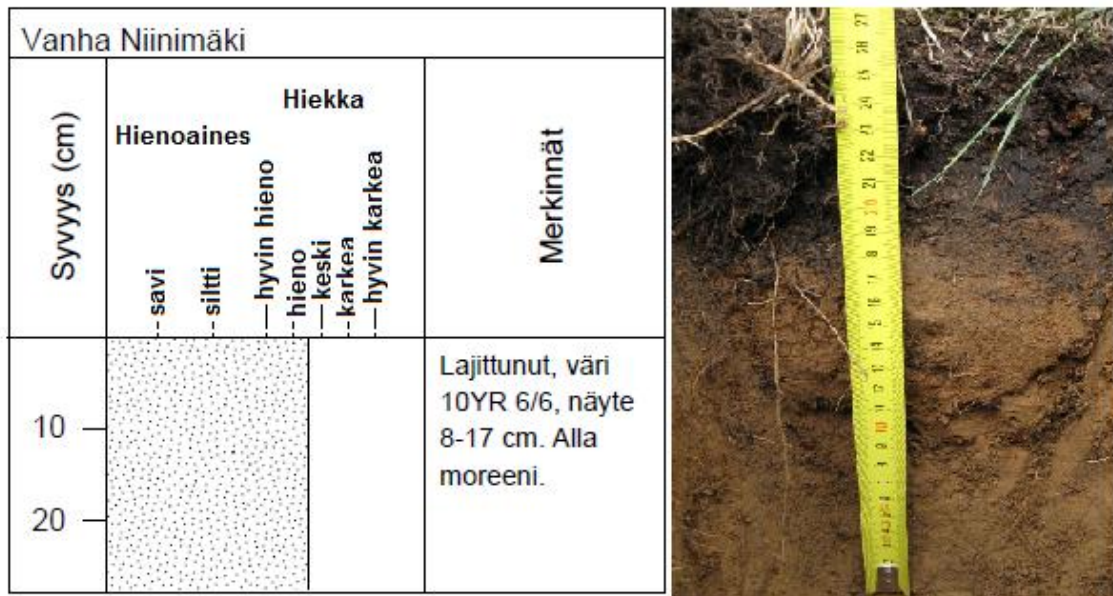
Vanhan Niinimäen havainnointikohde sijaitsi noin 12 km Lammin keskustasta länteen, Jänisjärventien varrella (Kuva 13). Lössimäistä sedimenttiä etsittiin Vanhan Niinimäen länsi- ja lounaisrinteiltä, mutta sedimenttiä löytyi vain pieneltä, noin 10x15 m alueelta lounaisrinteestä. Vanhan Niinimäen puusto oli lehtimetsää.

0–28 cm syvyydellä oleva, hieno-/keskihiekkainen, lajittunut ja rakenteeton lössi peitti kivistä moreenia (Kuva 14). Syvyydellä 18 cm oli yksittäinen, halkaisijaltaan 2 cm kivi. Ylin 7–8 cm lössisedimentistä oli maannostunut. Alueen lössikerroksen paksuus vaihteli hieman, ollen syvimmillään kivenkolossa noin 45 cm. Keskimääräinen syvyys oli noin 28 cm ja kerros oheni alueen reunoille päin.

Lössikerroksen väri oli tuoreena 10 YR 6/6 (brownish yellow) ja kuivana YR 10 4/6 (dark yellowish brown). Moreenin oli harmaan sävyistä, tuoreena 10 YR 5/4 (yellowish brown). Kohteesta otettiin yksi näyte (Vanha Niinimäki) syvyydeltä 8–17 cm.



Kuva 13. (1) Vanha Niinimäki. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.



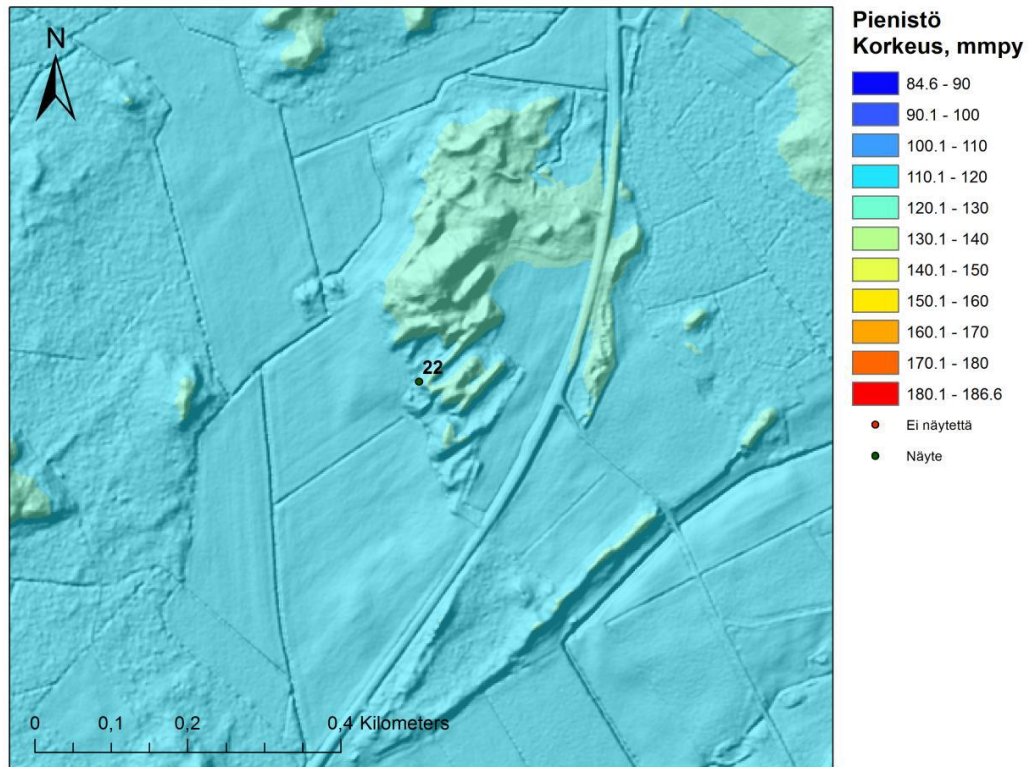
Kuva 14. Vanhan Niinimäen sedimenttilogi ja havainnointikuoppa .

4.1.8 Pienistö

Lössiaineksen vertailukohteeksi valittiin Pienistön dyynialue, joka sijaitsee noin 9 km Lammin keskustasta pohjoiseen, Padasjoentien länsipuolella (Kuva 15). Dyynit ulottuivat noin 80 m leveälle ja yli 100 m pitkälle alueelle. Paikalla kasvoi pääasiassa nuorta mäntyä ja aluskasvillisuus oli heinikkoa.

Alueen poikittaisdyynit olivat noin 4–5 m korkeita, 10–15 m leveitä ja noin 30–100 m pitkiä. Dyynien pituussuunta oli koillis-lounaissuunnassa. Tarkemmat havainnot tehtiin alueen lounaispäässä olevasta dyynistä (Kuva 16).

Dyyniaineen raekoko oli painottunut pääasiassa karkeaan hiekkaan ja hieman keskihiekkaan ilman havaittavaa hienoainesfraktiota. Aines oli erittäin hyvin lajittunutta ja rakenteetonta. Dyynisedimentin tuore väri oli 10 YR 5/8 (yellowish brown) ja kuiva väri 10 YR 5/6 (yellowish brown). Dyynin ylin 10 cm oli maannostunut tumman punertavaksi. Paikalta otettiin näyte (Pienistö) 20–25 cm syvyydeltä.



Kuva 15. (22) Pienistö. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.



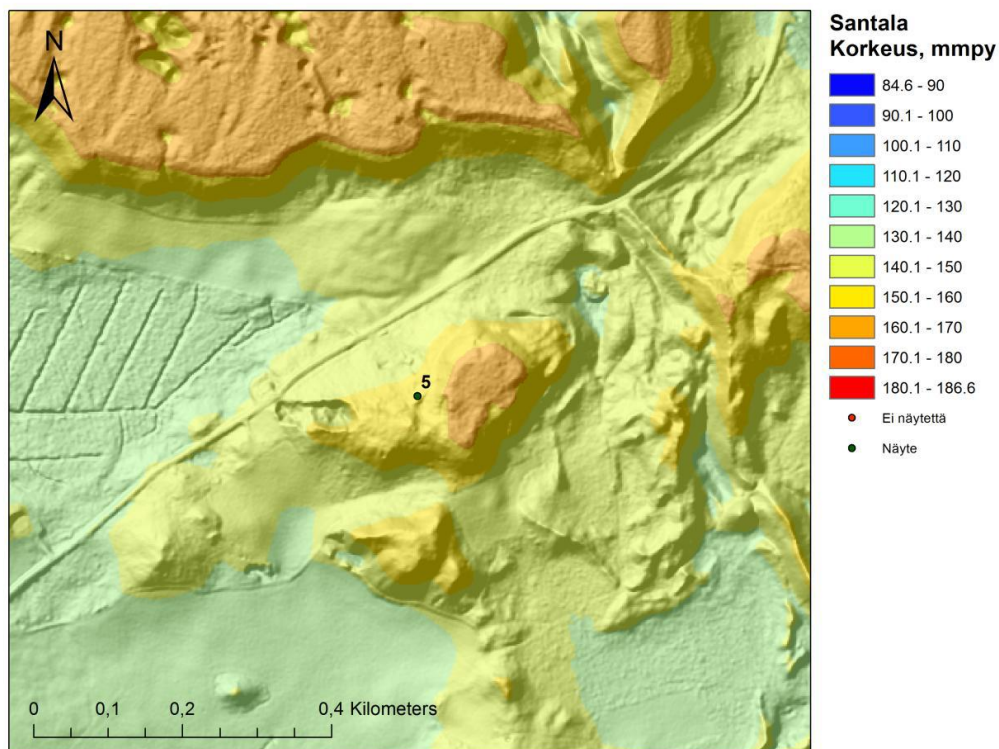
Kuva 16. Pienistön leikkauspaljastuma.

4.1.9 Santala

Santalan havainnointikohde oli Lammin keskustasta noin 4 km lounaaseen, Kataloistentien kaakkoispuolella (Kuva 17). Kohde sijaitsi mäen länsi- ja luoteisrinteessä. Selkein ja paksuin lössisedimentin kerros painottui mäen tasanteelle, noin 5m mäen harjanteen alapuolella, ja ulottui noin 4x10 metrin alueelle. Mäki kasvoi kuusimetsää.

Lössikerrokseen kaivettiin 65 cm syvä kuoppa (Kuva 18). Syvyydelle 53 cm ulottuva lössikerros oli raekooltaan hienoa hiekkaa ja silttiä. Lössikerroksen alaosassa, noin syvyydellä 20–40 cm pinnasta oli havaittavissa muutama klasti, jonka koko vaihteli hyvin karkeasta hiekasta hyvin hienoon soraan.

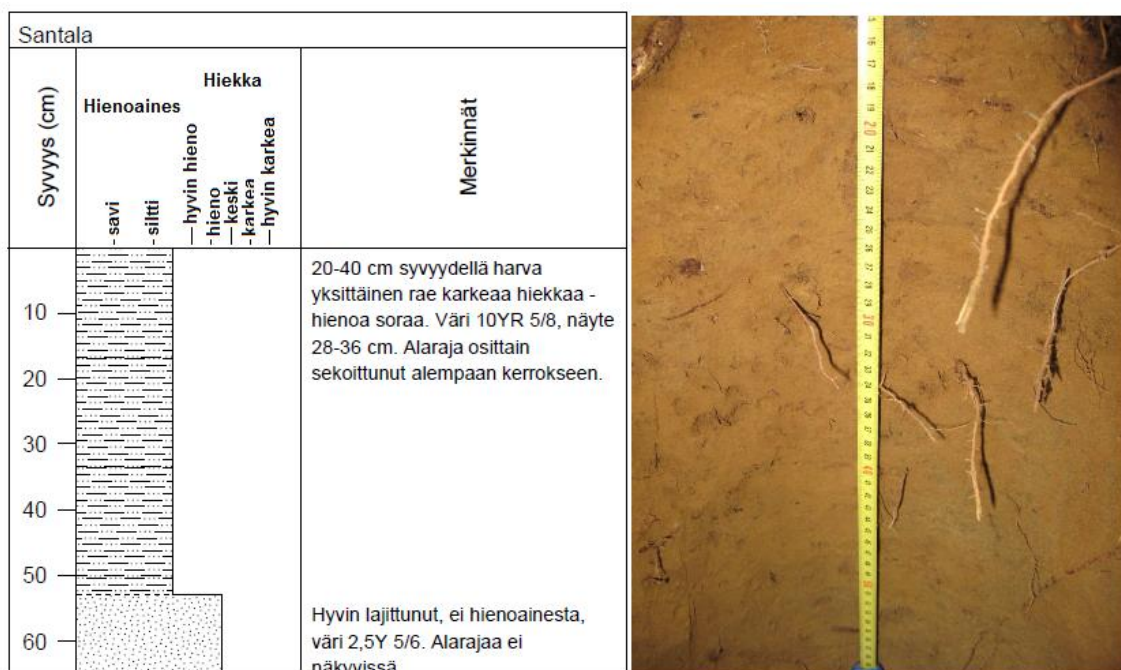
Lössikerroksen raekoko oli hienosta hiekasta silttiin ja lössin alapuolisen kerroksen raekoko oli hienosta keskihiekkaan, ilman hienoaainesosuuutta. Lössikerroksen alaosassa, noin syvyydellä 20–40 cm pinnasta oli havaittavissa harva yksittäinen kookkaampi rae, jonka raekoko vaihteli hyvin karkeasta hiekasta hyvin hienoon soraan. Lössin



Kuva 17. (5) Santala. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.

alapuolella, syvyydellä 53–65 cm oli rakenteetonta hienoa-/keskihiekkaa. Kerroksen pohja ei ollut näkyvissä. Kuopan yhdellä sivulla oli näiden kahden kerroksen rajalla merkkejä kerrosten sekoittumisesta, aina noin 40 cm syvyyteen asti.

Lössikerroksen väri oli tuoreena 10 YR 5/8 (yellowish brown) ja kuivana 10 YR 6/6 (brownish yellow). Lössin alapuolisen kerroksen väri oli tuoreena 2,5 Y 5/6 (light olive brown) ja kuivana 2,5 Y 6/4 (light yellowish brown). Kohteesta otettiin yksi lössikerrosta edustava näyte (Santala) 28–36 cm syvyydeltä.

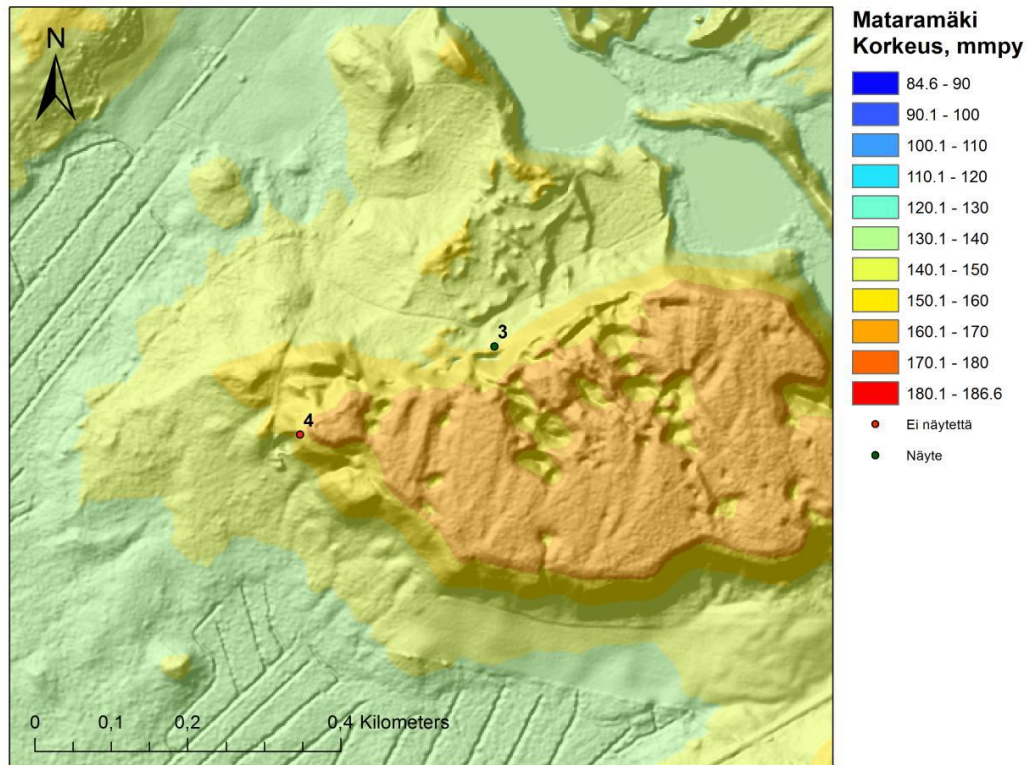


Kuva 18. Santalan sedimenttilogi ja havainnointikuoppa.

4.1.10 Mataramäki

Mataramäen havainnointikohde sijaitsi Kataloistentien luoteispuolella, noin 700 m Santalan havainnointipisteestä luoteeseen (Kuva 19). Puustoalueella kasvoi havupuuta.

Päällimmäisenä oli noin 24 cm kerros multamaata, joka sisälsi paljon hiiltä. Tämän alla oli lössimäistä sedimenttiä, enimmillään 50–58 cm syvyyteen asti ja tämän alla moreenia (Kuva 20). Lössimäistä sedimenttiä havaittiin hajanaisesti noin 50 m pituisella



Kuva 19. Mataramäen havainnointipisteet: (3) Mataramäki, (4) soranottoalue. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.

ja 30 m levuisella alueella. Metsän reunaan siirryttäessä ei ollut samanlaista multamaakerrosta, vaan lössikerroksen ylin 20–24 cm oli maannostunut.

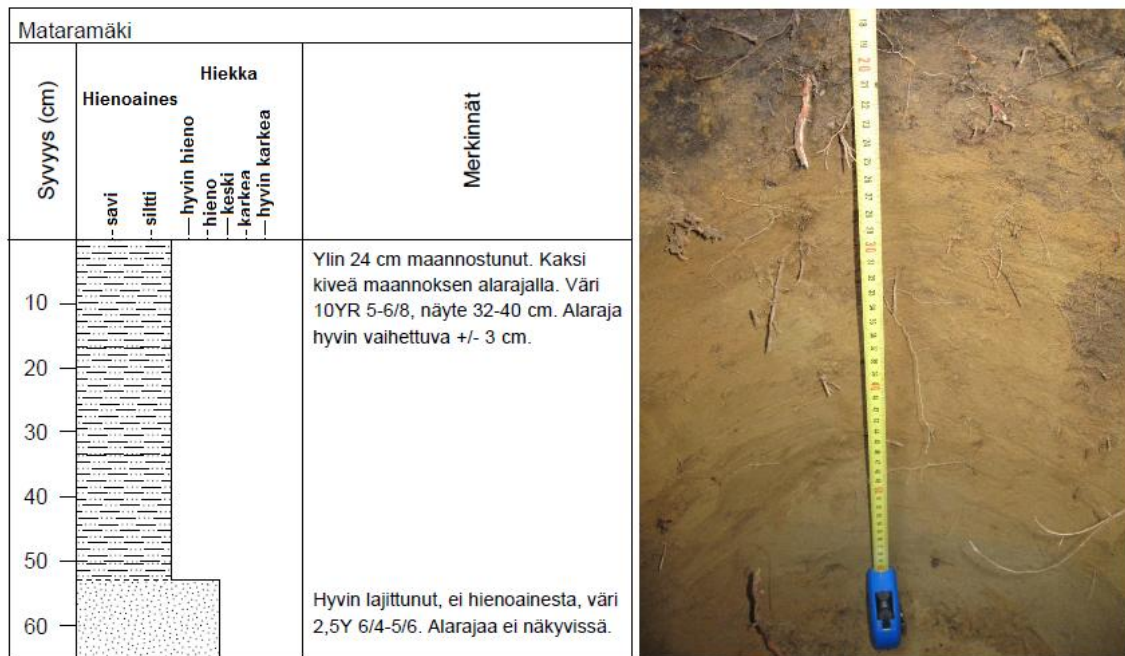
Tarkempi havainnointi tehtiin noin 5m metsän reunasta. Lössikerros, 0–53 cm syvyydellä, oli silttiä, massiivinen ja alarajaltaan vaihtuva. Alempi kerros, 53–65 cm syvyydellä, oli rakenteetonta, hyvin lajittunutta keskihiekkaa, eikä alarajaa ei ollut näkyvissä. Näytekuopan sivulla oli kaksi, halkaisijaltaan 20 ja 10 cm kiveä maannostuneen osuuden alarajassa.

Ylemmän kerroksen väri oli tuoreena 10 YR 5–6/8 (yellowish brown–brownish yellow) ja kuivana 10 YR 6/6 (brownish yellow). Alemman kerroksen väri oli tuoreena 2,5 Y 6/4–5/6 (light yellowish brown–light olive brown) ja kuivana 2,5 Y 7/4 (pale yellow). Kohteesta otettiin yksi näyte (Mataramäki) 32–40 cm syvyydeltä.

Noin 300 metriä Mataramäen näytestä itäkoilliseen olevan soraottoalueen sedimenttileikkauksesta havainnoitiin Mataramäen kohdetta vastaavaa lössiä.

Lössikerros esiintyi kuopan korkeimmalla kohdalla keskimäärin noin 20–30 cm paksuna kerroksena ja oheni tasaisesti alemmas tultaessa. Kerros oli selkeästi havaittavissa vain kuopan yläreunan korkeudella, 20 m levuisella alueella.

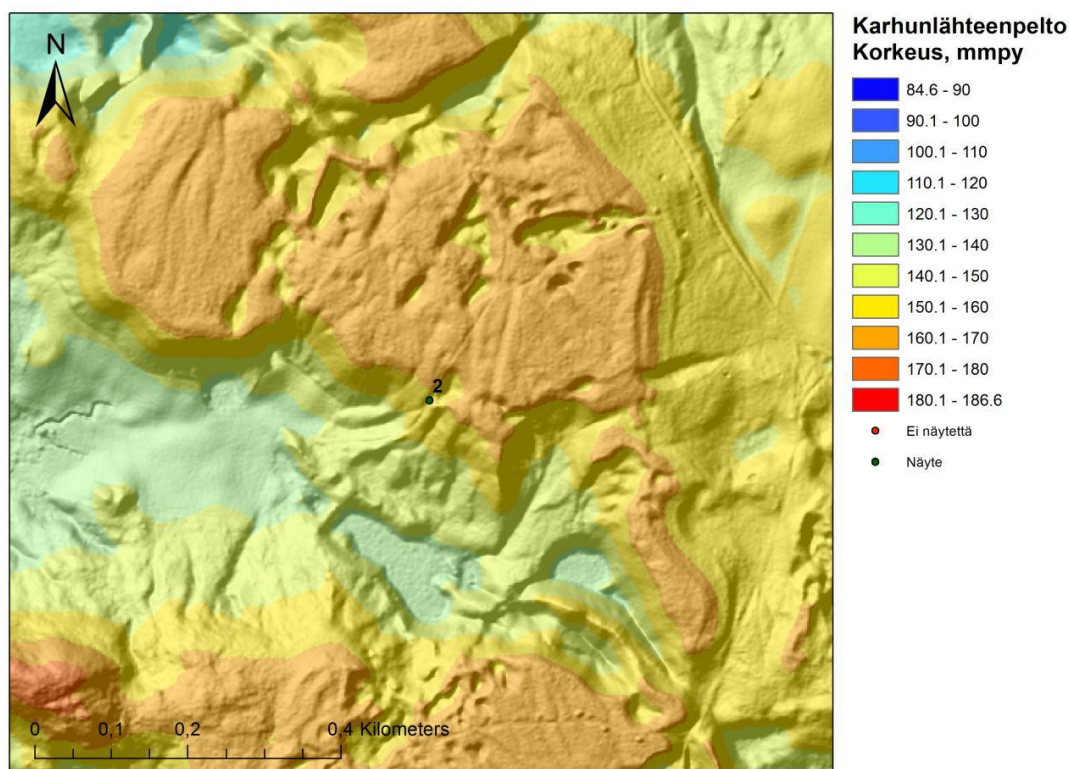
Lössi oli rakenteetonta, hyvin hienoa hiekkaa ja silttiä. Kerroksen alaraja vaihtui epämääräisesti alapuoliseen soraan. Lössikerroksen alarajalla oli yksittäisiä rakeita karkeampaa hiekkaa ja soraa ja kerroksen keskellä yksittäinen, halkaisijaltaan noin 8 cm oleva kivi. Lössin väri oli tuoreena 10YR 5/6–8 (yellowish brown–brownish yellow) ja kuivana 10YR 6/4 (dark yellowish brown). Paikalta ei otettu näytettä.



Kuva 20. Mataramäen sedimenttilogi ja havainnointikuoppa.

4.1.11 Karhunlähteenpelto

Karhunlähteenpellon havainnointikohde sijaitsi Lammin keskustasta 3,5 km länteen, Viipurintieltä Karhunlähteenpellolle vievän metsätien varrella (Kuva 21). Kohde oli Hauskalankankaan deltatasaanteen lounaaseen viettävän rinteeseen sedimentteihin tehty leikkaus. Paljastuman lateraalinen ulottuvuus oli noin 60 m. Rinne kasvoi sekametsää.



Kuva 21. (2) Karhunlähteenpelto. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.

Paljastumaan paksuimpaan havaittavaan kohtaan kaivettiin 102 cm korkea leikkaus (Kuva 22). Leikkauksesta oli havaittavissa neljä erilaista kerrosta, joista kolme ylintä muistuttivat koostumukseltaan lössiä. Nämä kolme ylintä kerrosta erottuivat toisistaan lähinnä värin perusteella, joka vaihtui tasaisesti vaaleampaan alemmas mentäessä.

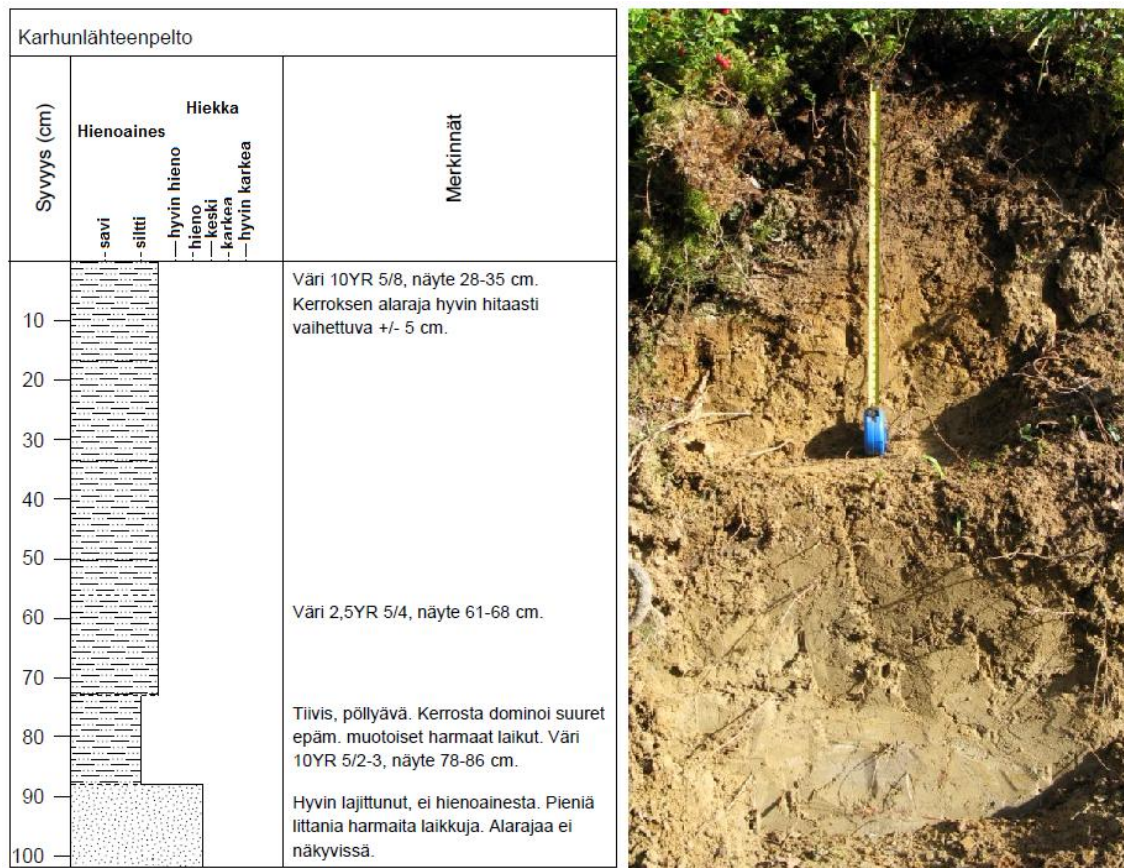
A-kerros, 0–56 cm syvyydellä, oli massiivinen, hienosta hiekasta silttiin ja sen väri oli tuoreena 10 YR 5/8 (yellowish brown) ja kuivana 10 YR 6/4 (dark yellowish brown).

B-kerros, 56–73 cm syvyydellä, oli rakenteeton ja raekooltaan hienosta hiekasta silttiin. Kerros erosi ylemmästä vain värin perusteella, joka vaihtuu 51–61 cm syvyydellä harmaammaksi. Sedimentin värisävy näiden kahden kerroksen vaihettumissyvyydellä (53 cm), oli tuoreena 2,5 YR 5/4–6 (reddish brown–red) ja kuivana 2,5 Y 7/4 (pale yellow). B-kerroksen sedimentin väri oli 66 cm syvyydellä tuoreena 2,5 YR 5/4 (reddish brown) ja kuivana 2,5 Y 6/4 (light yellowish brown). Värisävy muuttui myös vähäisesti B-kerroksen sisällä.

C-kerros, 73–88 cm syvyydellä, oli hyvin tiivis ja selkeästi pölyävämpi kuin ylemmät kerrokset. Hienosta hiekasta silttiin ja hienompiin olevassa kerroksessa oli suuria, epämääräisen muotoisia ja kerrosta dominoivia harmaita laikkuja. Laikut eivät poikenneet muusta sedimentistä muun kuin värin perusteella. Laikkujen sedimentin tuore väri oli 10 YR 5/2–3 (grayish brown–brown) ja kuiva 2,5 YR 7/2 (pale red).

Alin kerros, 88–102 cm syvyydellä, oli rusehtavan sävyinen ja sisälsi myös harmaita laikkuja. Laikut olivat C-kerroksen laikkuja pienempiä ja litistyneitä. Kerros oli hienoa-/keskihiekkaa, hyvin lajittunut, eikä sisältänyt hienoaainesta. Kerroksen alakontakti ei ollut nähtävillä paljastumassa.

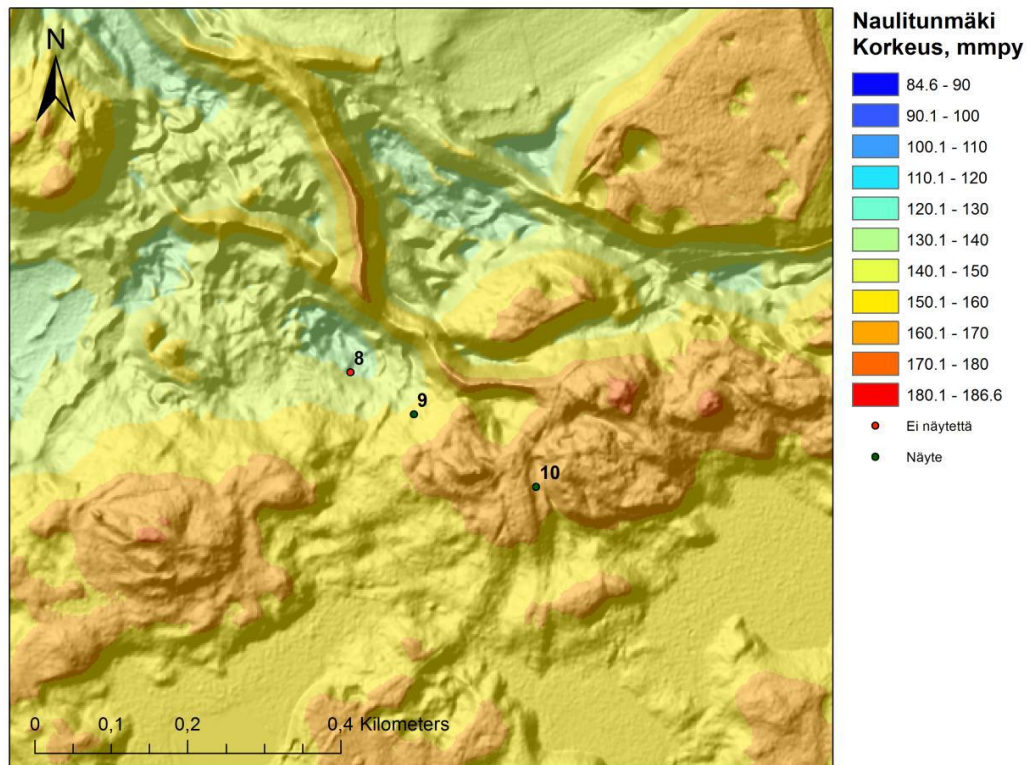
Kolmea ylintä kerrosta edustavat näytteet otettiin syvyyksiltä 28–35 cm (Karhunlähteenpelto A), 61–68 cm (Karhunlähteenpelto B) ja 78–86 cm (Karhunlähteenpelto C).



Kuva 22. Karhunlähteenpellon sedimenttilogi ja leikkauspaljastuma.

4.1.12 Naulitunmäki

Naulitunmäen havainnointikohde sijaitsi noin 4,5 km Lammin keskustasta etelälounaaseen, Hauki-Heikintien varrella Naulitunmäen länsiosissa (Kuva 23). Naulitunmäen rinne viettää alas luoteeseen päin porrasmaisesti. Lösssiä esiintyi lähes



Kuva 23. Naulitunmäen havainnointipisteet: (8) rinteän alaosa, (9) rinteän puoliväli (Naulitunmäki A) ja (10) tien itäpuoli (Naulitunmäki B). Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.

koko rinteessä vaihtelevan paksuisena kerroksena. Rinne oli pääasiassa moreenikivikkoja ja kalliota, jonka päällä lössikerros oli osittain kivien väleihin painuneena.

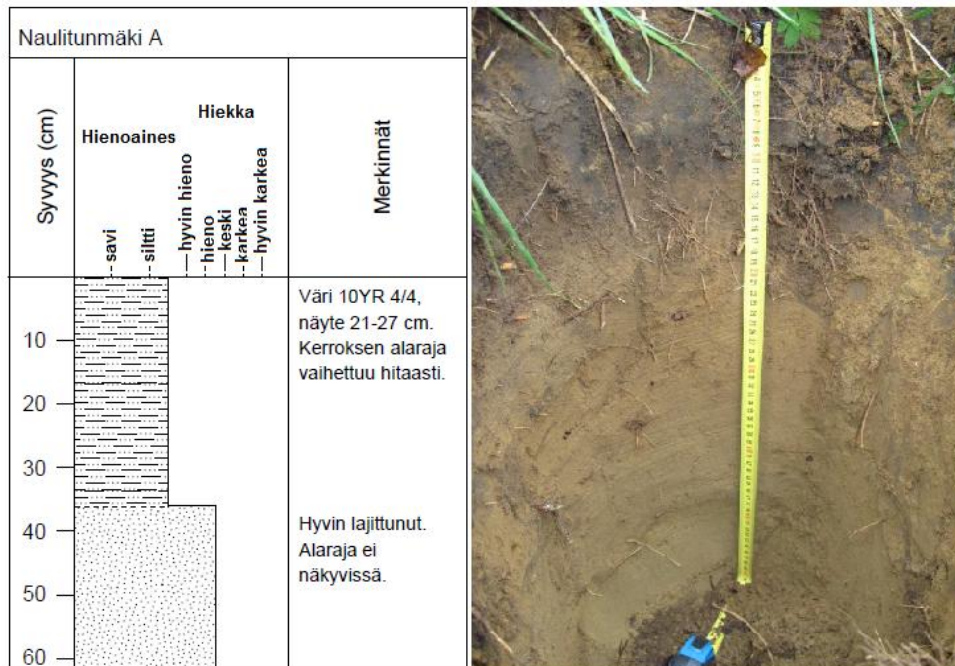
Rinnettä havainnoitiin jana Naulitunmäen länsiosista luoteessa olevaa syvännettä päin. Yleishavainnoinnin lisäksi lössikerrosta tutkittiin tarkemmin kolmesta kohdasta: yksi tutkittavan rinteän yläosasta, tien itäpuolelta, yksi rinteän puolestavälistä ja yksi läheltä syvänteen pohjaa. Lössisedimentti vaikuttaa samankaltaiselta koko havainnointialueella. Lösssiä oli rinteessä noin 100m pituisella ja vähintään 20 metrin

levyisellä alueella. Kerrostuma oli paksuimmillaan noin rinteän puolessavälissä. Sedimentin esiintymiseen vaikutti suuresti rinteän muodot: tutkitun alueen pohjoispuolella kerrostuma loppui heti jyrkemmän rinteän alkaessa. Myös rinteän korkeimmalla alueella, autotien kohdalla, kerrostuma ei ollut koko ajan havaittavissa.

Tien itäpuolella lössiä esiintyi tasaisen, laajan ja matalan painanteen alueella, jossa kerroksen paksuus vaihteli noin 15–30 cm välillä. Kooltaan siltistä hienoon hiekkaan, rakenteeton ja käsiä tahraava lössi peitti moreenikivikko. Sedimentin väri oli märkänä 10 YR 4/4 (dark yellowish brown) ja kuivana 10YR 5/4 (yellowish brown).

Rinteän puolessavälissä kerrostuman paksuus vaihteli alapuolisen epätasaisen kivikon takia. Pisteeseen kaivettiin 65 cm syvä havainnointikuoppa (Kuva 24). Lössikerros, 0–36 cm syvyydellä, oli siltistä hienoon hiekkaan, rakenteeton ja käsiä tahraava.

Kerroksen alaraja oli hitaasti vaihtuva. Alempi kerros, 36–62 cm syvyydellä, oli hienoa-/keskihiekkaa, rakenteeton, hyvin lajittunut ja harmaantui alaspäin mentäessä. Kerroksen alaraja ei ollut näkyvässä, mutta ylsi vähintään 90 cm syvyyteen maaperäpiikillä tutkien. Ylemmän kerroksen väri oli märkänä 10YR 4/4 (dark yellowish brown) ja kuivana 10YR 6/4 (light yellowish brown).



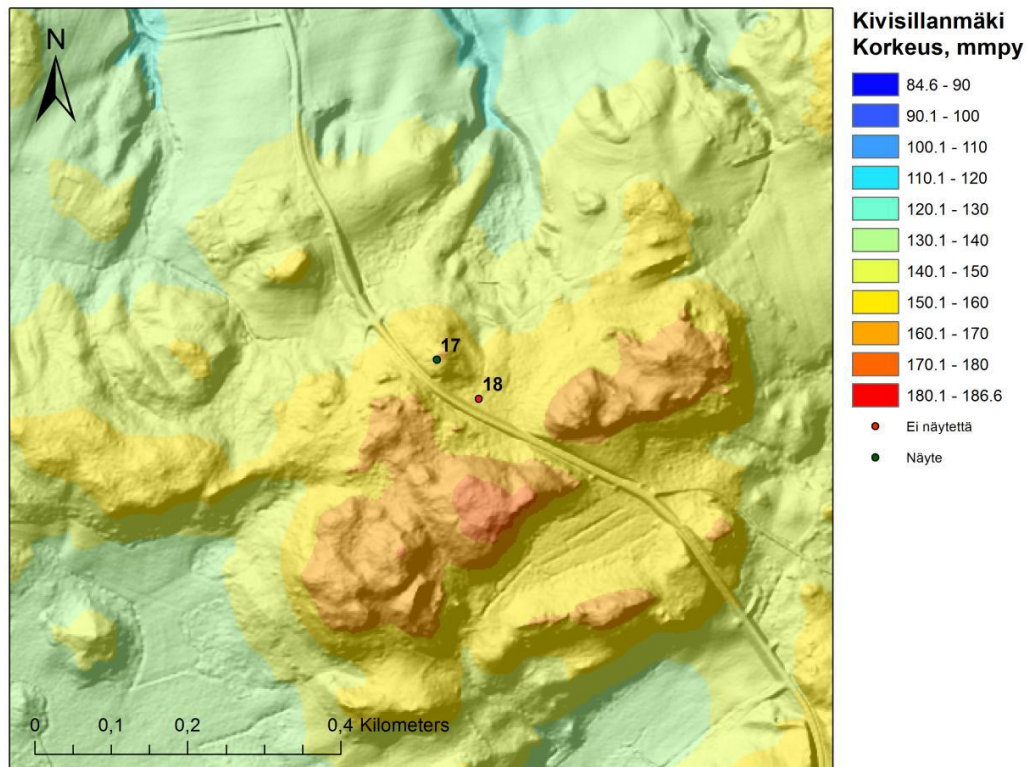
Kuva 24. Naulitunmäki A:n sedimenttilogi ja kuva kerroksesta.

Kerrostumaa havainnointiin myös rinteiden alaosassa, noin 70 m alamäkeen rinteiden puolivälin havainnointipisteestä ja vertikaalisesti noin 10 m alempana. Tällä alueella oli ylempiin pisteisiin verrattuna samankaltaista lössimäistä sedimenttiä noin 20–39 cm kerroksena, osittain kivenkoloihin painuneena.

Rinteiden puolivälistä otettiin näyte 21–27 cm syvyydeltä (Naulitunmäki A) ja tien itäpuolelta noin 15–20 cm syvyydeltä (Naulitunmäki B).

4.1.13 Kivisillanmäki

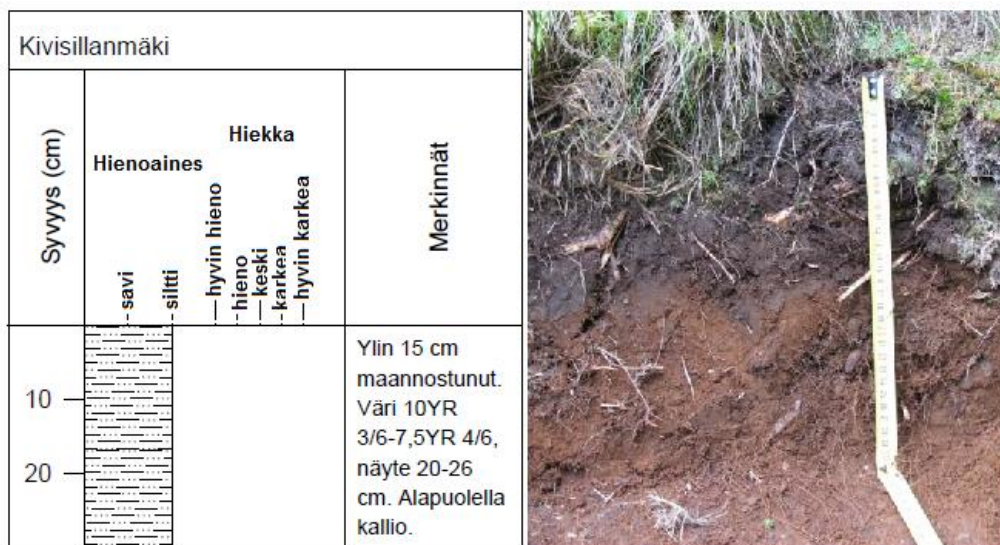
Kivisillanmäen havainnointikohde sijaitsi noin 2 km Lammin keskustasta kaakkoon, Pääjärventien varrella. Havainnointikohde oli pieni kalliokohouma Pääjärventien koillispuolella, sekä rajattu alue tästä kaakkoon kohti Kivisillanmäen korkeampaa lakea (Kuva 25).



Kuva 25. Kivisillanmäen havainnointipisteet: (17) kalliokohouma, (18) koivikkoalue. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.

Kalliokohouman korkeimmasta pisteestä kaakkoon esiintyi lössimäistä sedimenttiä kallion ja moreenin päällä, noin 5 m leveällä alueella (Kuva 26). Rakenteettoman siltin paksuus vaihteli 0–30 cm ja ylin 15 cm oli maannostunut. Kerroksen alaosassa oli alapuolisesta kalliosta peräsin olevia kivenkappaleita. Sedimentin väri oli märkänä 10YR 3/6 (dark yellowish brown) ja 7,5YR 4/6 (strong brown) väliltä ja kuivana 10YR 5/4 (yellowish brown).

Kalliokohoumasta noin 70 m kaakkoon olevassa, nuorta koivikkoa kasvavassa rinteessä oli arviolta siltistä hienoon hiekkaan oleva, yli 75 cm syvä kerros, jonka alarajaa ei havaittu. Koko alue oli muokkaantunut metsänhoidon yhteydessä ja pohjaveden pinta oli tutkimushetkellä noin 30–50 cm syvyydessä, mikä hankaloitti kerrostuman Kallion päällä olevasta kerrostumasta otettiin näyte (Kivisillanmäki) 20–26 cm syvyydeltä. Koivikkoalueelta ei ole näytettä.

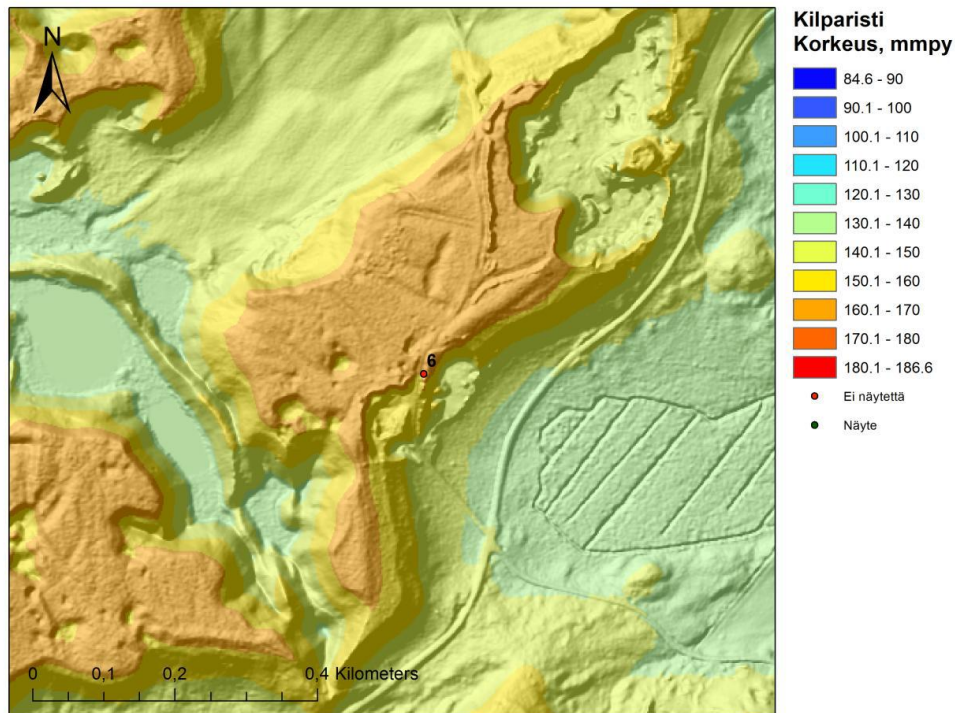


Kuva 26. Kivisillanmäen kalliokohouman havainnointikohteen sedimenttilogi ja paljastumaleikkaus.

4.1.14 Kilparisti

Havainnontikohde oli soranottoalue Viipurintien varrella, Viipurintien ja Kataloistentien välissä, Oustillan kohteesta 700m luoteeseen, Outsillan ja Mataramäen puolivälissä (Kuva 27). Kohde sijaitsi deltan distaalipuolella, missä rinne viettää hieman kaakkoon.

Kohteen ylin 20 cm oli rakenteetonta silttistä hiekkaa, jossa oli mukana isompia rakeita halkaisijaltaan noin 75 mm asti ja vähäisissä määrin myös isoja kiviä. Silttisen hiekan alapuolella oli soraa. Samanlaista silttistä hiekkaa oli myös viereisen tien toisella puolella olevan sorakuopan pintakerros, noin 100 metrin päässä. Kohteesta ei ole Munsell-väriä, eikä kohteesta otettu näytettä.



Kuva 27. (6) Kilparisti. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.

4.2 Raekokoanalyysi

Taulukosta 2. voidaan havaita, että Lammin lössi ja alapuoliset kerrokset ovat hiekkapainotteisia ja osassa näytteistä on runsaasti keskihiekkaa. Tuloksien rakeisuusjakamaa kuvaavat tunnusluvut, sekä näytteen geotekninen maalajiluokitus ovat esitettyinä Taulukossa 3. Näytteiden lajittuneisuus vaihteli hyvin lajittuneesta huonosti lajittuneeseen, Pienistö poislukien, joka oli ainoa hyvin lajittunut. Kaikkien näytteiden vinoutuneisuus oli $< 1,0$; eli kaikissa näytteissä vallitsevat hienot lajitteet ja karkein neljännes näytteistä on paremmin lajittunutta. Vanhan Niinimäen näytettä lukuun ottamatta kaikkien näytteiden rakeisuusjakama on normaalia latteampi.

Taulukko 2. Näytteiden suhteellisten osuuksien raekoot. d10 = raekoko mikrometreinä, joka on suurempi kuin 10% ja pienempi kuin 90% näytteen rakeista tilavuuden mukaan.

Näytekohde	d10	d20	d25	d30	d50	d60	d75	d90
Karhunlähteenpelto A yläosa	16,6	31,7	39,3	46,9	79,8	100,5	145	243,9
Karhunlähteenpelto B keskiosa	15,6	27,1	32,7	38,2	61,8	76	103,9	155,7
Karhunlähteenpelto C alaosa	10,7	17,9	21,5	25,4	43,3	54,6	77,6	120,8
Kivisillanmäki	7	12,8	16,7	21,3	45,8	62,2	98,1	178,1
Mataramäki	9,8	20,4	27,2	34,8	70,7	92,7	138,1	232,6
Naulitunmäki A	7,2	13,4	17,1	21,4	45,2	61,9	95,9	159,3
Naulitunmäki B	7	13,4	17,5	22,1	45,7	60,7	91,3	151,5
Onnenvuori A	10,6	18,7	23,3	28,4	54,4	71,6	106,9	175,4
Onnenvuori B alaosa	29,4	46,5	54	61,3	91,8	109,9	145,8	211,7
Onnenvuori B yläosa	13,1	23,3	28,5	33,9	57,9	72,5	101,7	156
Outsilta alaosa	38	61,5	71,3	80,8	120,3	143,9	191	278,6
Outsilta yläosa	20	44,5	56,4	67,4	109,2	132,7	178,1	259,4
Pienistö	90,4	128,4	143,7	158,3	217,3	251	315,5	426,1
Ristimäki ala	22,2	39,5	47,5	55,1	86,5	105	142,1	213,6
Ristimäki ylä	20,9	37,2	44,8	52,3	82,8	100,6	135,7	200,9
Santala	19,1	44,8	58,5	72,4	136,3	177,8	265,4	436,2
Untulanharju A	13,8	34,6	49,8	67,3	148,4	198,4	304,1	536,7
Untulanharju B	6,7	14,2	19,2	25,1	56,8	77,3	119,9	207,2
Vanha Niinimäki	19,8	47,5	64	82,8	182,6	246,1	367,3	574,5

Kuivaseulottujen näytteiden yli 2mm fraktioiden osuudet ovat nähtävissä Taulukossa 4. Laseranalyysin raekokojakaumat, yli 2mm fraktion osuus huomioituna, ovat kuvissa 28 ja 29. Pienistön raekokojakauma poikkeaa muista selvästi paremman lajittuneisuuden ja karkeamman raekoon perusteella. Analysoiduista monikerroksisista kohteista Karhunlähteenpelto on ainoa, jonka raekoko hienonee alaspäin. Muilla kohteilla alemman kerroksen raekoko on joko selvästi karkeampi tai lähes sama kuin ylempi kerros. Karkeimpia sedimenttejä ovat Pienistön lisäksi Santala, Vanha Niinimäki ja Untulanharju A, muiden näytteiden hiekkaosuus on selkeästi pienempi. Kaikki näytteet ovat unimodaalisia. Kivisillanmäki on ainoa, jonka rakeisuuskäyrässä on havaittavissa hieman bimodaalisuuteen viittaavia piirteitä.

Joissakin näytteissä oli selkeitä kerroksia kuvaavia paakkuja, joiden materiaali oli muun sedimenttiaineen yleisilmeestä poikkeavaa. Onnenvuori B yläosassa, Ristimäki yläosassa ja Ristimäki alaosassa oli saven tyyppisiä paakkuja. Onnenvuori B yläosassa, Ristimäki yläosassa, Ristimäki alaosassa, Karhunlähteenpelto A yläosassa ja C

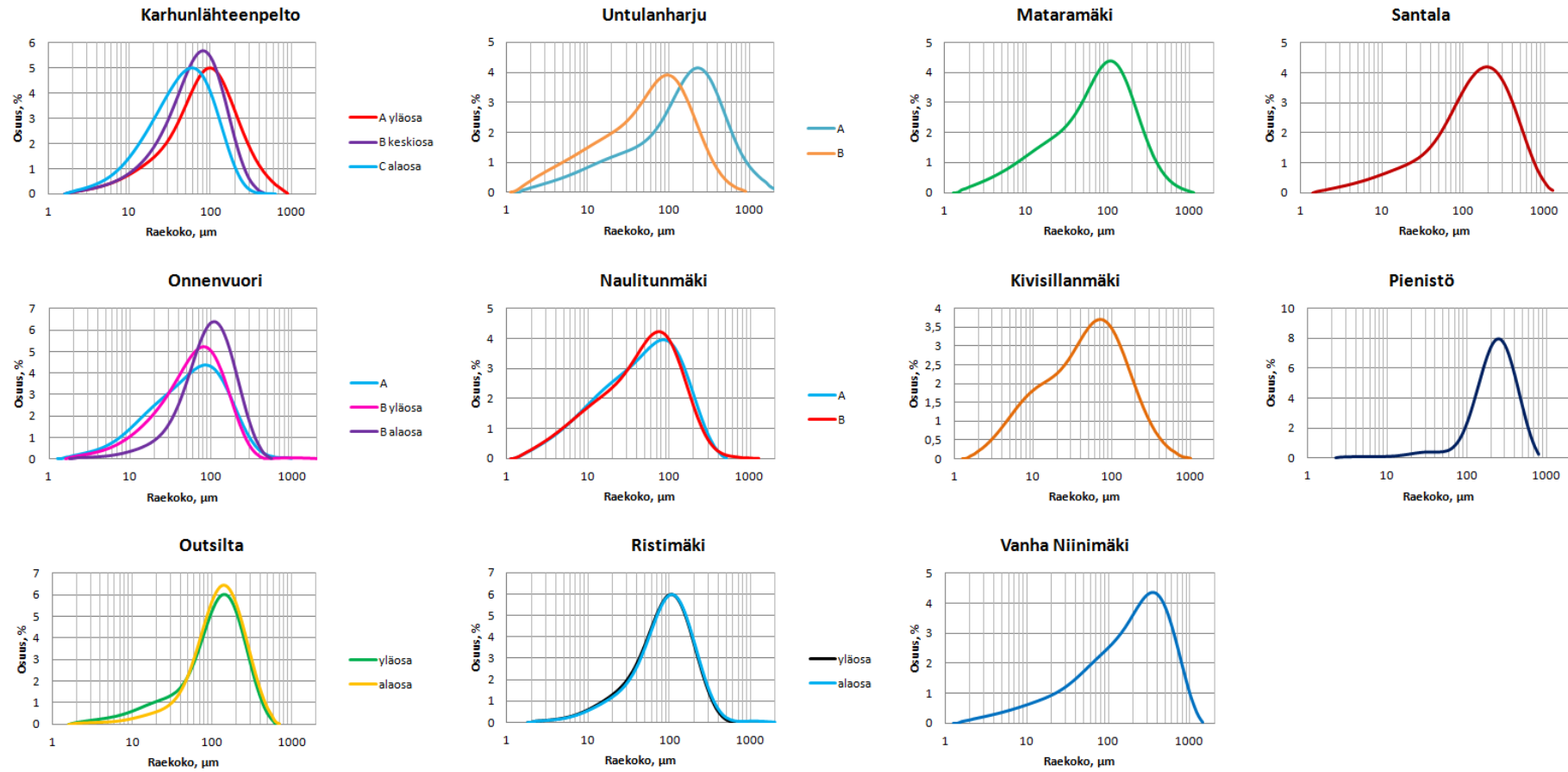
alaosassa, Kivisillanmäessä, sekä Naulitunmäki A:ssa ja B:ssä oli hienoaineksesta karkeaan silttiin olevia, väriltään vaihtelevia kovia ja melko kovia paakkuja.

Taulukko 3. Näytteiden rakeisuusjakaumaa kuvaavat tunnusluvut ja geotekninen maalajiluokitus. Sk = symmetrisyysvakio/vinoutuneisuus, K = aritmeettinen huipukkuuskerroin.

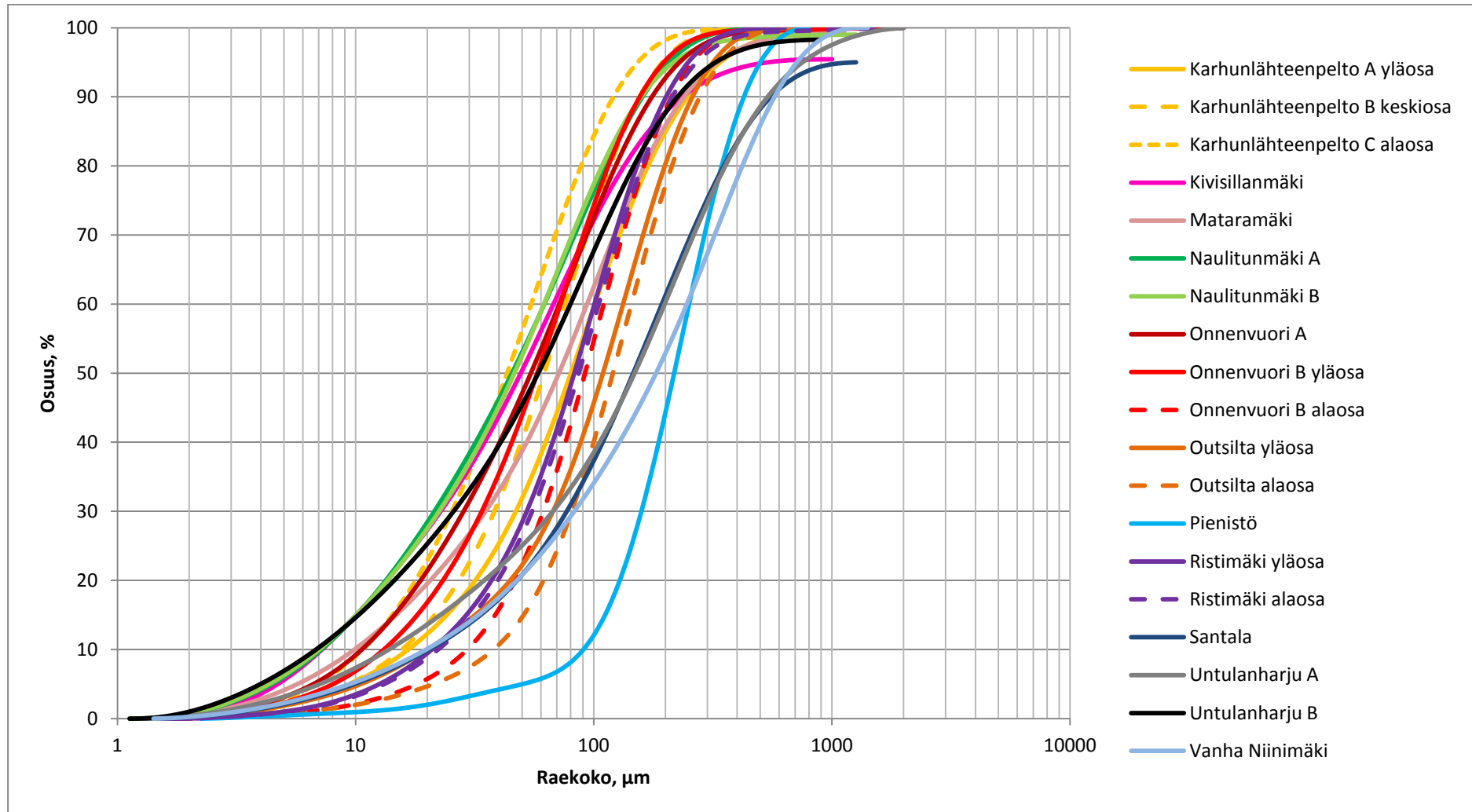
Näytekohde	Lajittuneisuus, So		Sk	K	Geotekninen luokitus	
Karhunlähteenpelto A yläosa	1,92	kohtalaisesti lajittunut	0,89	0,233	silttinen hiekka	siHk
Karhunlähteenpelto B keskiosa	1,78	kohtalaisesti lajittunut	0,89	0,254	silttinen hiekka	siHk
Karhunlähteenpelto C alaosa	1,9	kohtalaisesti lajittunut	0,89	0,255	hiekkainen siltti	hkSi
Kivisillanmäki	2,42	huonosti lajittunut	0,78	0,238	hiekkainen siltti	hkSi
Mataramäki	2,25	huonosti lajittunut	0,75	0,249	hiekkainen siltti	Hk
Naulitunmäki A	2,37	huonosti lajittunut	0,8	0,259	hiekkainen siltti	hkSi
Naulitunmäki B	2,29	huonosti lajittunut	0,76	0,255	hiekkainen siltti	hkSi
Onnenvuori A	2,14	huonosti lajittunut	0,84	0,254	hiekkainen siltti	hkSi
Onnenvuori B alaosa	1,64	kohtalaisesti lajittunut	0,93	0,252	hiekkainen siltti	Hk
Onnenvuori B yläosa	1,89	kohtalaisesti lajittunut	0,86	0,256	hiekkainen siltti	hkSi
Outsilta alaosa	1,64	kohtalaisesti lajittunut	0,94	0,249	hiekkainen siltti	Hk
Outsilta yläosa	1,78	kohtalaisesti lajittunut	0,84	0,254	hiekkainen siltti	Hk
Pienistö	1,48	hyvin lajittunut	0,96	0,256	hiekkainen siltti	Hk
Ristimäki ala	1,73	kohtalaisesti lajittunut	0,9	0,247	silttinen hiekka	siHk
Ristimäki ylä	1,74	kohtalaisesti lajittunut	0,89	0,252	silttinen hiekka	siHk
Santala	2,13	huonosti lajittunut	0,84	0,248	hiekkainen siltti	Hk
Untulanharju A	2,47	huonosti lajittunut	0,69	0,243	hiekkainen siltti	Hk
Untulanharju B	2,5	huonosti lajittunut	0,71	0,251	hiekkainen siltti	hkSi
Vanha Niinimäki	2,39	huonosti lajittunut	0,71	0,273	hiekkainen siltti	Hk

Näytteistä Vanha Niinimäki, Karhunlähteenpelto A, B ja C, Kivisillanmäki, Mataramäki, Naulitunmäki A ja B, Santala ja Untulanharju A ja B löytyi vaihtelevia määriä hiiltä, osasta runsaasti (Kuva 30). Hiili havaittiin yleisimmin 0,25–1 mm seuloilla, mutta näytteissä oli myös muutama hyvin kookas hiilenpala, halkaisijaltaan noin 3–5 mm.

Näytteiden mineralogiseen koostumukseen ei kiinnitetty analyysien aikana erityistä huomiota, mutta joitakin näytteitä seulottaessa kiilteiden runsaus ei voinut jäädä huomaamatta. Näytteissä Karhunlähteenpelto C alaosa, Onnenvuori B alaosa ja Outsilta alaosa oli merkittäviä määriä kiilteitä. Outsillan alaosan näytteen lähes kaikki yhtä millimetriä suuremmat rakeet olivat kiilteitä, pääasiassa muskoviittia. Lähes kaikissa näytteissä rakeiden joukossa havaittiin myös kohtuullisen runsaasti kivilajifragmentteja.



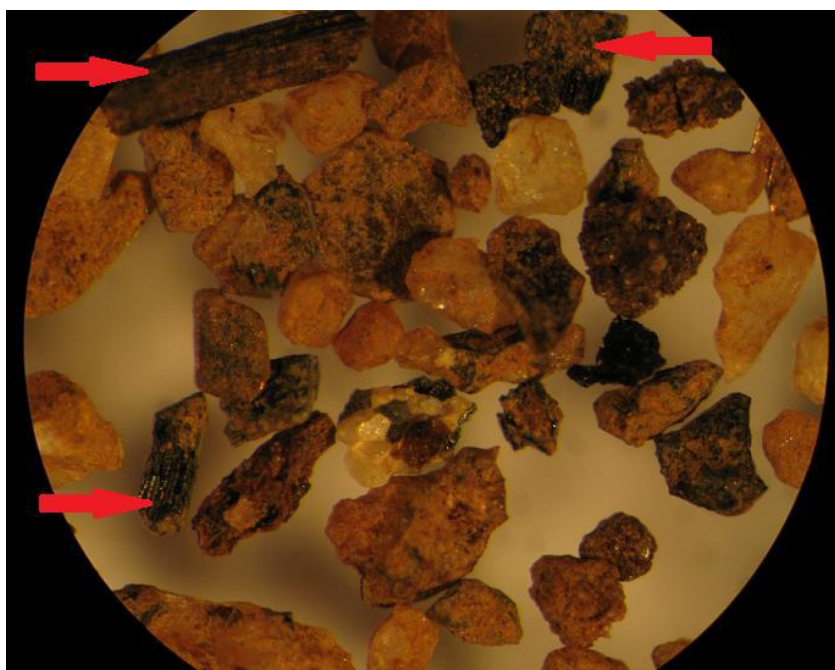
Kuva 28. Lammin näytteiden raekokojakaumat logaritmisella asteikolla havainnointikohteittain.



Kuva 29. Lammin näytteiden raekokojakaumat kumulatiivisesti esitettynä, yli 2mm osuus huomioituna.

Taulukko 4. Näytteiden yli 2mm fraktion osuus näytteen painosta.

Näytekohde	>2mm fraktio, %
Karhunlähteenpelto A yläosa	0,34
Karhunlähteenpelto B keskiosa	0,01
Karhunlähteenpelto C alaosa	0,02
Kivisillanmäki	4,56
Mataramäki	0,63
Naulitunmäki A	0,12
Naulitunmäki B	0,99
Onnenvuori A	0
Onnenvuori B yläosa	0
Onnenvuori B alaosa	0
Ousilta yläosa	0
Ousilta alaosa	0
Pienistö	0
Ristimäki yläosa	0
Ristimäki alaosa	0
Santala	5,02
Untulanharju A	0
Untulanharju B	1,73
Vanha Niinimäki	0



Kuva 30. Punaisten nuolten osoittamia hiilenpaloja Kivisillanmäen näytteessä, valomikroskoopilla tarkasteltuna (Rakeiden halkaisija noin 0,25-0,5 mm).

Lammin näytteiden U-suhde vaihteli kohteiden päällimmäisissä kerroksissa 1–2,47 välillä, kun lössikerrosten alapuolisissa kerroksissa U-suhde oli keskimäärin suurempi, vaihdellen 1,93–3,38 välillä (Taulukko 5).

Taulukko 5. Lammin näytekohteiden eri kerrosten U-suhteet ($U=16\text{--}44\mu\text{m}/2\text{--}16\mu\text{m}$).

Ylimmät kerrokset	U-suhde
Karhunlähteenpelto A yläosa	1,95
Kivisillanmäki	1,04
Mataramäki	1,22
Naulitunmäki A	1,12
Naulitunmäki B	1,13
Onnenvuori A	1,58
Onnenvuori B yläosa	2,05
Ousilta yläosa	1,5
Ristimäki yläosa	2,47
Santala	1,35
Untulanharju A	1,07
Untulanharju B	1
Vanha Niinimäki	1,3
<i>Keskiarvo</i>	<i>1,44</i>
<i>Mediaani</i>	<i>1,32</i>
Alemmat kerrokset	U-suhde
Karhunlähteenpelto B keskiosa	2,44
Karhunlähteenpelto C alaosa	1,93
Onnenvuori B alaosa	3,38
Ousilta alaosa	2,45
Ristimäki alaosa	2,48
<i>Keskiarvo</i>	<i>2,54</i>
<i>Mediaani</i>	<i>2,45</i>
Dyyri	U-suhde
Pienistö	1,96

4.3 Rakeiden pintarakenne

Tulkinnassa rakeiden pinta-ala jaettiin piirteiden mukaan eolista kulkeutumista ja glasiaalista ja subakvaattista kulkeutumista edustaviin osiin (Taulukko 6). Liian epätarkat osat rakeista, joiden kulkeutumisympäristöä ei pystytty tulkitsemaan, jätettiin pois rakeen tulkittavasta pinta-alasta.

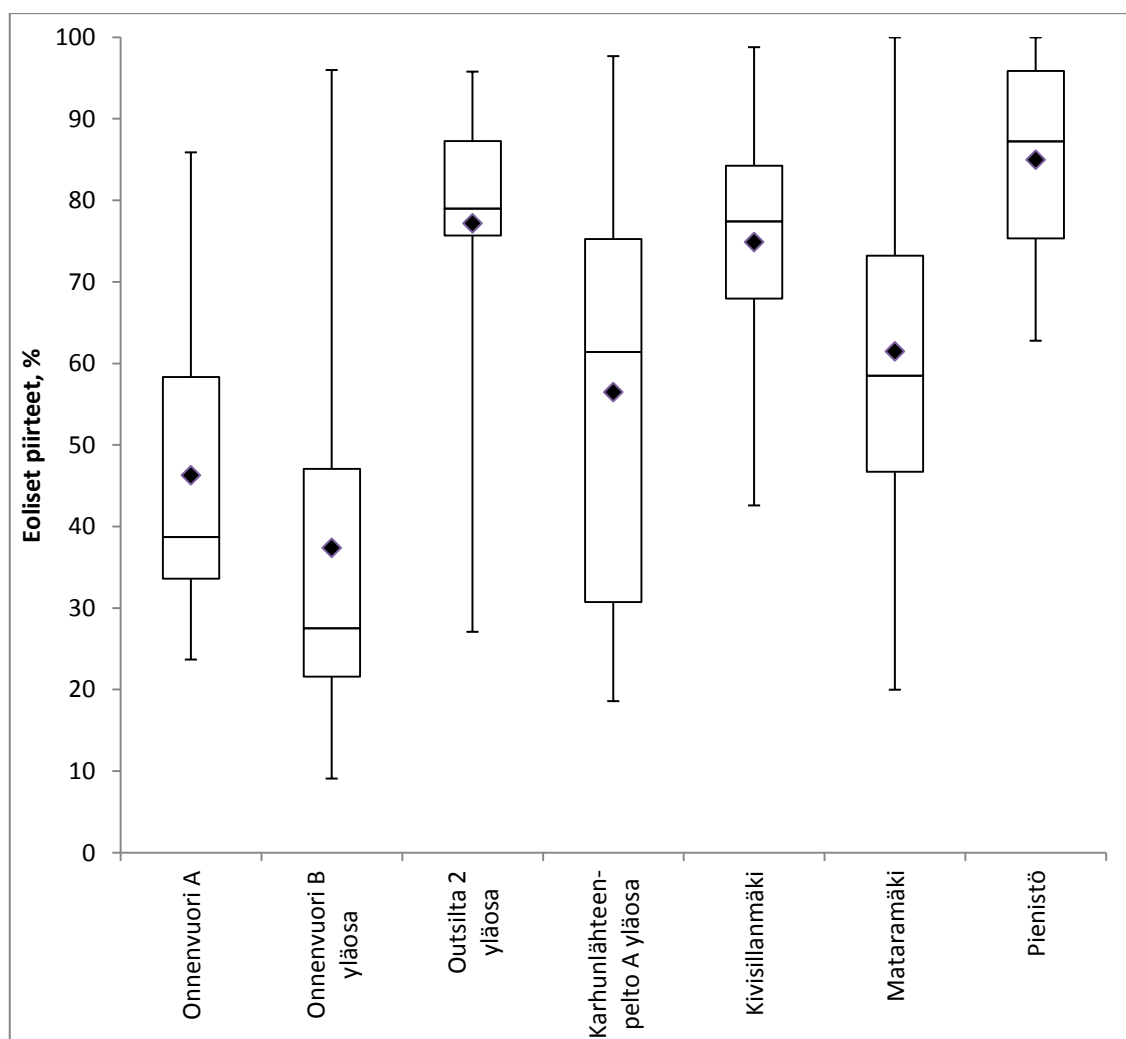
Rakeiden kulkeutumisympäristöä ilmaisevien piirteiden pinta-alojen keskimääräiset glasiaaliset ja subakvaattiset, sekä eoliset osuudet kunkin näytekohteen rakeissa ovat Taulukossa 7 ja eolisia piirteitä kuvaavat osuudet Kuvassa 31. SEM-kuvatuista rakeista tulkittiin pyöristyneisyys Shepardin (1963) pyöristyneisyysluokkia käyttäen (Kuva 32). Pyöristyneisyyden tulokset ovat esitettynä Taulukossa 8.

Taulukko 6. Rakeissa havaitut, kullekin kulkeutumisympäristölle tyypilliset piirteet Krinsley ja Doornkamp (1973) mukaan.

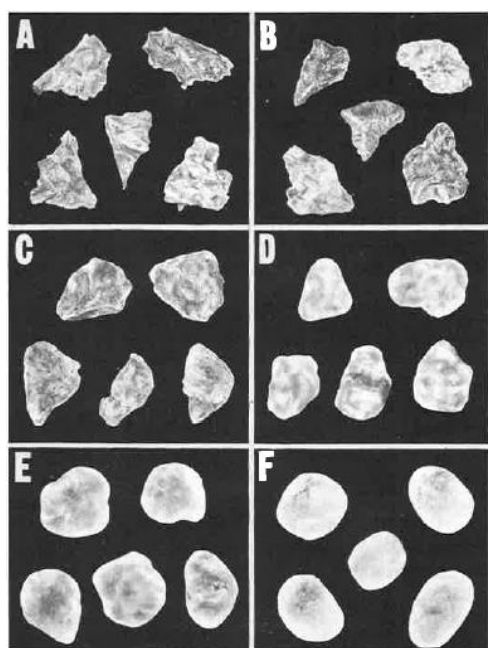
Piirteet	Kulkeutumisympäristö	
	Eolinen	Glasiaalinen ja subakvaattinen
Iskostuneet partikkelit		mahdollinen
Kiinnittyneet partikkelit	tyypillinen	
Kääntyneet eroosiopinnat	tyypillinen	
Liukeneminen ja saostuminen	tyypillinen	mahdollinen
Maljamainen kovertuma	tyypillinen	
Mekaaninen V-muoto		tyypillinen (subakv.)
Sileä murtuma- ja lohkeavuuspinta		tyypillinen
Simpukkamurros		tyypillinen

Taulukko 7. Eolisten piirteiden ja glasiaalisten ja subakvaattisten piirteiden osuudet näytteiden rakeissa.

Näytekohde	Eoliset piirteet, %		Glasiaaliset ja subakvaattiset piirteet, %	
	Keskiarvo	Mediaani	Keskiarvo	Mediaani
Onnenvuori A	46,3	38,7	53,7	61,3
Onnenvuori B yläosa	37,4	27,5	62,6	72,5
Outsilta 2 yläosa	77,2	79	22,8	21
Karhunlähteenpelto A yläosa	56,5	61,4	43,5	38,6
Kivisillanmäki	74,9	77,4	25,1	22,6
Mataramäki	61,5	58,5	38,5	41,5
Pienistö	85	87,25	15	12,75



Kuva 31. Näytekohteiden rakeiden eolisten piirteiden vaihtelu näytteen sisällä.



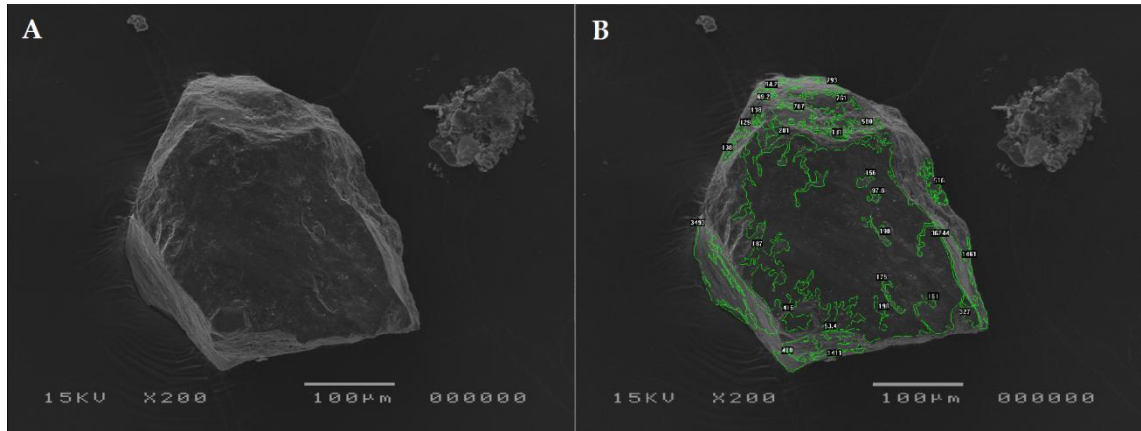
Kuva 32. Rakeiden pyöristyneisyysluokat Shepardin (1963) mukaan.

Taulukko 8. Näytekohteiden rakeiden pyöristyneisyys käyttäen Shepardin (1963) pyöristyneisyysluokkia A:sta (hyvin kulmikas) F:ään (hyvin pyöristynyt). N= näytteiden lukumäärä.

Näytekohde	A, %	B, %	C, %	D, %	E, %	F, %	N
Onnenvuori A	13,3	26,7	53,3	6,7	0	0	15
Onnenvuori B yläosa	13,3	33,3	46,7	6,7	0	0	15
Outsilta yläosa	0	6,7	46,7	46,7	0	0	15
Karhunlähteenpelto A yläosa	13,3	26,7	40	20	0	0	15
Kivisillanmäki	0	20	60	13,3	6,7	0	15
Mataramäki	6,7	33,3	46,7	6,7	13,3	0	15
Pienistö	0	0	62,5	25	12,5	0	8

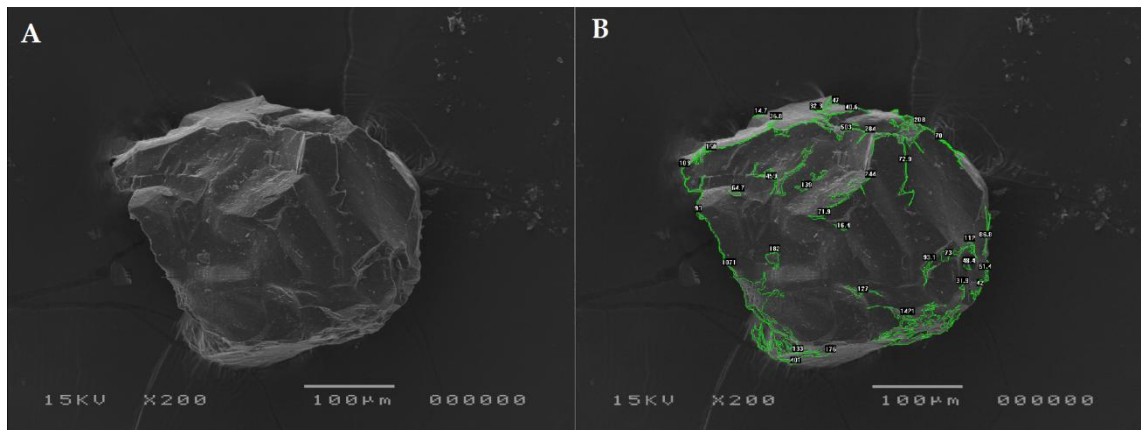
Onnenvuori A:n näytteen rakeet olivat pyöristyneisyydeltään keskimäärin hieman kulmikkaita. Näytteen kaikissa rakeissa oli merkkejä kääntyneistä eroosiopinnoista (*upturned plates*), sileistä murtumapinnoista (*flat cleavage face*) ja kiinnittyneistä partikkeleista (*adhering particles*) (Kuva 33). Seitsemässä rakeessa oli iskostuneita rakeita (*silica plastering*) ja seitsemässä tuoreita tai hieman kulkeutumisessa kuluneita simpukkamurroksia (*conchoidal fracture*). 13 rakeessa oli havaittavissa liukenemista ja

saostumista (*solution and precipitation*). Onnenvuoren rakeista kolmessa oli alueita, joita ei pystytty tulkitsemaan kuvan epätarkkuuden vuoksi.



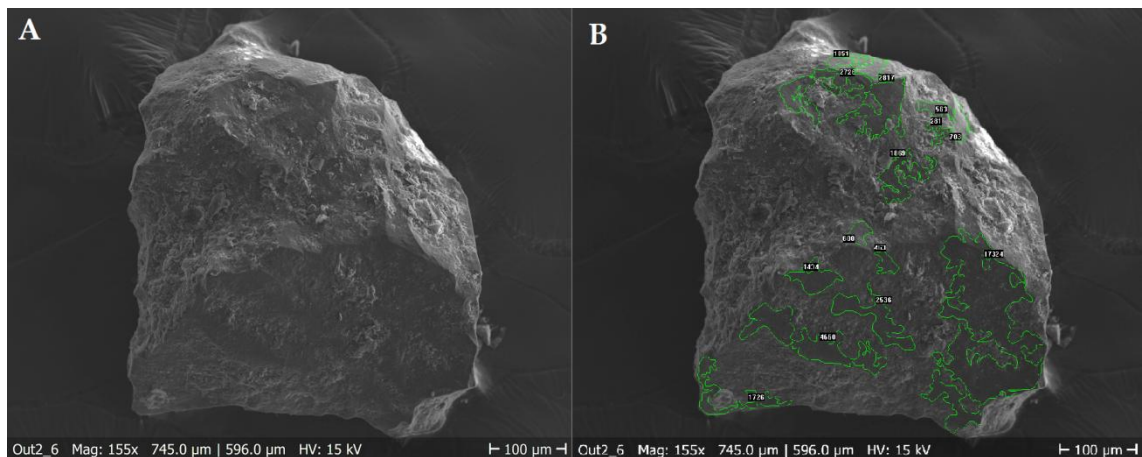
Kuva 33. Onnenvuori A, rae 11: A) rae ilman tulkintoja, B) rakeen glasiaaliset ja subakvaattiset piirteet merkittynä.

Onnenvuori B yläosan rakeet olivat keskimäärin kulmikkaita, painottuen enemmän hieman kulmikkaisiin. Näytteen kaikissa rakeissa oli havaittavissa kääntyneitä eroosiopitoja, kiinnittyneitä partikkeleita, sileitä murtumapintoja ja vaihtelevassa määrin liukenemista ja saostumista (Kuva 34). Yhden rakeen lähes kaikki havaittavat murtumapinnat olivat lohkeavuussuuntaan (*cleavage plane*). 11 rakeessa oli simpukkamurroksia ja seitsemässä rakeessa iskostuneita rakeita. Kahdessa rakeessa saostumista oli niin paljon, että se peitti alempia piirteitä täysin. Yhdessä rakeessa oli liian epätarkka alue piirteiden tulkitsemista varten.



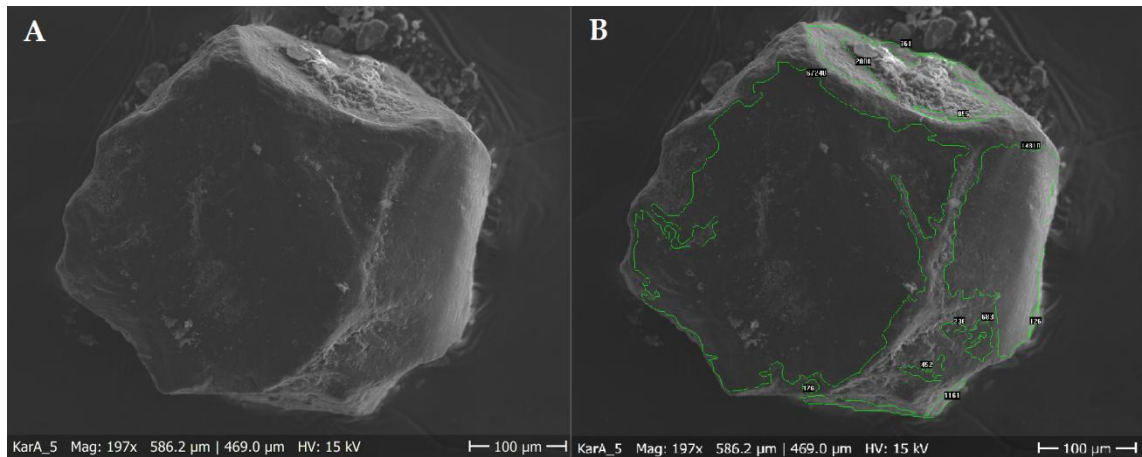
Kuva 34. Onnenvuori B yläosa, rae 8: A) rae ilman tulkintoja, B) rakeen eoliset piirteet merkittynä.

Outsillan yläosan rakeiden pyöristyneisyys oli keskimäärin hieman kulmikas. Näytteen kaikissa rakeissa oli havaittavissa kääntyneitä eroosiopintoja, kiinnittyneitä partikkeleita, liukenemista ja saostumista ja, yhtä piirteiltään täysin eolista raetta lukuun ottamatta, sileitä murtumapintoja (Kuva 35). Yhden rakeen murtumapinta suosi selkeästi kiteen lohkeavuussuuntaa. Neljässä rakeessa oli havaittavissa simpukkamurroksia, kolmessa maljamaisia kovertumia (*dish shaped concavity*), yhdessä rakeessa oli merkkejä iskostuneista rakeista ja yhdessä hyvin vähän mekaanisia v-muotoja (*mechanical V-forms*). Neljässä kuvassa oli epätarkaksi jääneitä rakeen alueita, joita ei voitu tulkita.



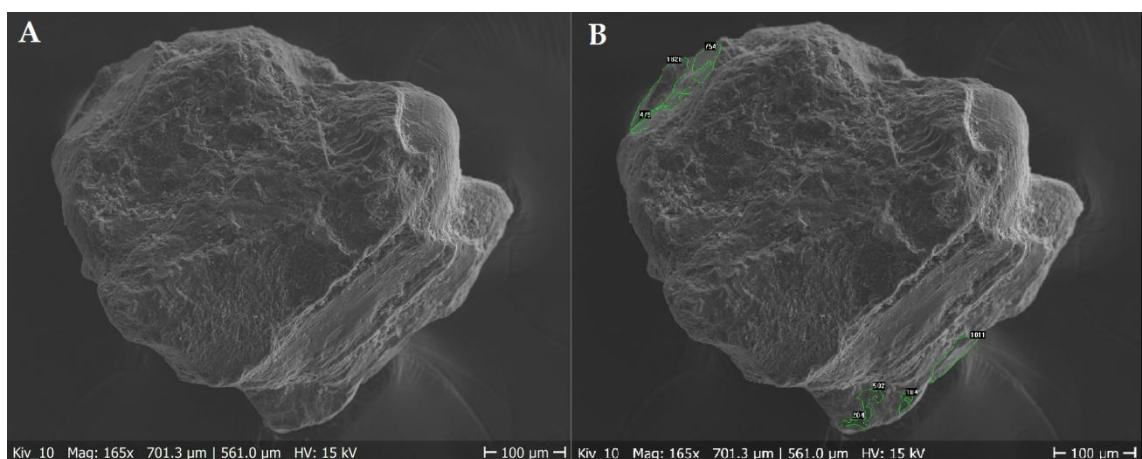
Kuva 35. Outsilta 2 yläosa, rae 6: A) rae ilman tulkintoja, B) rakeen glasiaaliset ja subakvaattiset osat merkittynä.

Karhunlähteenpellon näytteen rakeet olivat keskimäärin hieman kulmikkaita. Näytteen kaikissa rakeissa oli nähtävissä merkkejä kääntyneistä eroosiopinnoista ja kiinnittyneistä partikkeleista (Kuva 36). 14 rakeessa oli nähtävillä sileitä murtumapintoja, viidessä simpukkamurroksia ja kolmessa iskostuneita rakeita. 14 rakeessa oli havaittavissa vaihtelevissa määrin liukenemisen ja saostumisen merkkejä. 12 rakeessa oli alueita, joita ei pystynyt tulkitsemaan kuvan epätarkkuuden vuoksi.



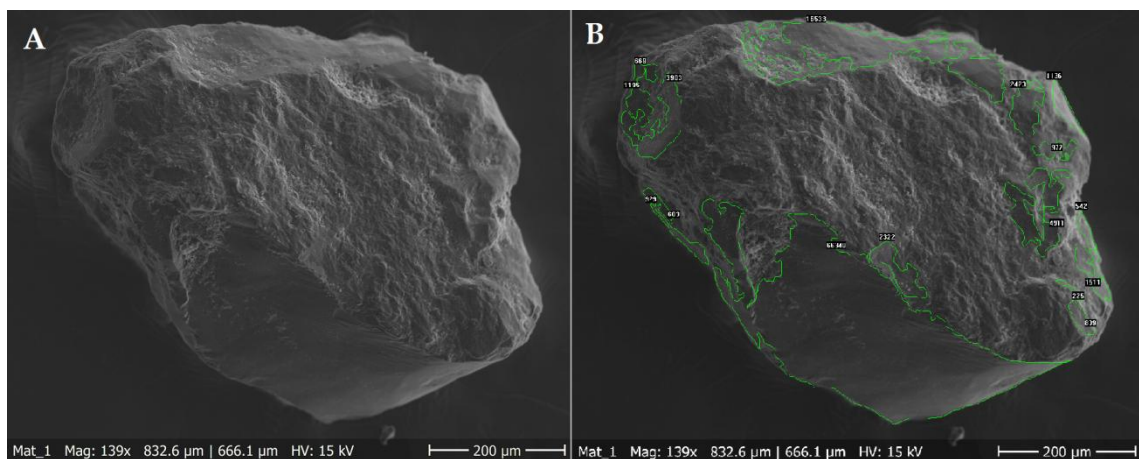
Kuva 36. Karhunlähteenpelto A yläosa, rae 5: A) rae ilman tulkintoja, B) rakeen glasiaaliset ja subakvaattiset piirteet, sekä tulkintaan liian epätarkat alueet merkittynä.

Kivisillanmäen rakeiden pyöristyneisyys oli keskimäärin hieman kulmikas. Kaikissa rakeissa oli havaittavissa vaihtelevissa määrin kääntyneitä eroosiopintoja, liukenemista ja saostumista ja, yhtä piirteiltään täysin eolista raetta lukuun ottamatta, sileitä murtumapintoja (Kuva 37). Osassa rakeista saostumista oli erittäin paljon ja se peitti muut piirteet lähes kokonaan. Yhdessä rakeessa oli maljamainen kovertuma, kahdessa simpukkamurroksia ja yhdessä vähäisesti mekaanisia v-muotoja. Yhdeksässä rakeessa oli alueita, joita ei voinut tulkita kuvan epätarkkuuden vuoksi.



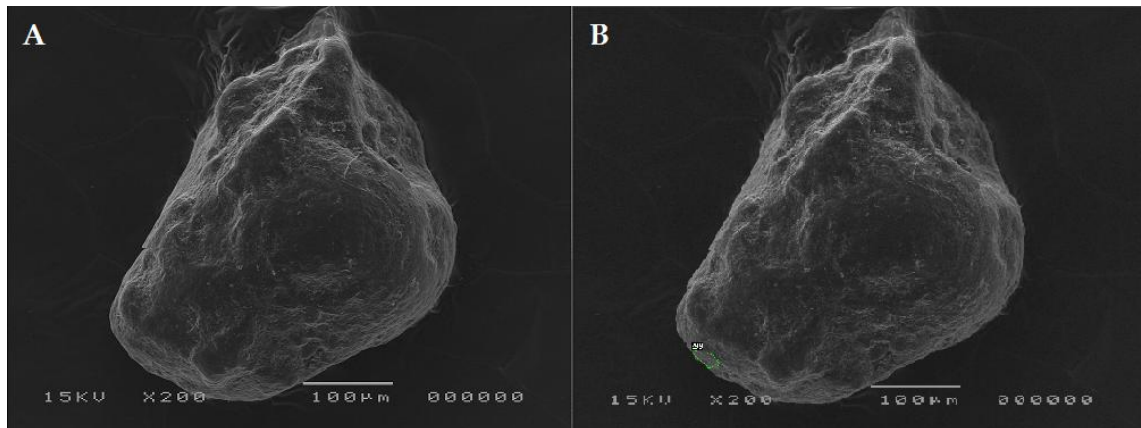
Kuva 37. Kivisillanmäki, rae 10: A) rae ilman tulkintoja, B) rakeen glasiaaliset ja subakvaattiset piirteet, sekä tulkintaan liian epätarkat alueet merkittynä.

Mataramäen näytteen rakeet olivat keskimäärin hieman kulmikkaita. Näytteen kaikissa rakeissa oli kiinnittyneitä partikkeleita, sekä vaihteleva määrä kääntyneitä eroosiopintoja ja liukenemista ja saostumista (Kuva 38). Muutamassa rakeessa oli runsasta saostumista, joka peitti osittain muita piirteitä. 13 rakeessa oli sileitä murtumapintoja, seitsemässä simpukkamurroksia ja yhdessä iskostuneita rakeita. Kolmessa rakeessa oli havaittavissa maljamainen kovertuma. Näytteen rakeista kaksi oli piirteiltään täysin eolisia. Seitsemän rakeen kuvissa oli epätarkkoja alueita, joita ei voinut tulkita.



Kuva 38. Mataramäki, rae 1: A) rae ilman tulkintoja, B) rakeen glasiaaliset ja subakvaattiset piirteet, sekä tulkintaan liian epätarkat alueet merkittynä.

Pienistön näytteen rakeet olivat keskimäärin hieman kulmikkaita. Kaikissa rakeissa oli havaittavissa kääntyneitä eroosiopintoja, kiinnittyneitä partikkeleita ja liukenemista ja saostumista (Kuva 39). Kaikissa rakeissa merkittävä osa pinta-alasta oli liukenemisen ja saostumisen vaikuttamaa. Seitsemässä rakeessa oli havaittavissa pieniä, enää osittain näkyvissä olevia murtumapintoja. Yhdessä rakeessa oli maljamainen kovertuma ja yhdessä iskostunut rae. Yksi rakeista oli piirteiltään täysin eolinen.



Kuva 39. Pienistö, rae 3: A) rae ilman tulkintoja, B) rakeen glasiaaliset ja subakvaattiset piirteet merkittynä.

5 TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Raekoostumus

Lammin alueen lössikerrokset ovat huokoisia, rakenteettomia, raekooltaan hieman positiivisesti vinoutuneita hienompaan raekokoon, kellertävän tai rusehtavan sävyisiä ja pysyvät helposti pystyseinämänä, kuten Pye (1987) yksinkertaistetussa lössin määritelmässään kuvailee.

Lammin lössikerrokset ovat raekooltaan huomattavasti karkeampia kuin tyypilliset, vähintään 50% silttiä sisältävät lössit (Pye 1995) ja yleisesti huonommin lajittuneita (Kuva 40) Lammin lössikerroksia esittävien kerrosten hiekan osuus ($>63\ \mu\text{m}$) vaihteli 38,5–75,2 % välillä (keskiarvo 55,5 %) ja lössikerrosten alapuolisten kerrosten hiekan osuus 33,6–79,1 % välillä (keskiarvo 59%). Tämä on selkeästi enemmän kuin tavanomaisessa karkeassa lössissä, jota edustaa esimerkiksi Nebraskan lössiesiintymät (Swineford ja Frye 1951). Lammin näytteet eivät ole myöskään yhtä vinoutuneita kuin Nebraskan lössit.

Analysoiduissa näytteissä saven määrä ($<2\ \mu\text{m}$) oli 0–1 tilavuus-% ja kaikkien näytteiden keskiarvo oli 0,3 tilavuus-%. Ylimpiä kerroksia edustavissa näytteiden saven

keskiarvo oli 0,38 tilavuus-% ja alapuolisia kerroksia edustavien keskiarvo 0,08 tilavuus-%. Ristimäen yläosan saven määrä poikkesi muista yläosia edustavista näytteistä ja vastasi muiden alaosien saven määrää. Nämä tulokset muistuttavat huomattavan paljon U-suhteiden tuloksia. Dyynejä edustava Pienistö oli ainoa näyte, jossa ei ollut yhtään savea. Saven määrään ja samalla raekokojakaumaan vaikuttavat lössikerroksen ikä, kerrostumisympäristö ja sen ilmasto, kulkeutumismatka ja rapautuneisuus (Pye 1987). Nuorissa ja lyhyen matkan kulkeutuneissa lösseikerroksissa on vähemmän savea, kuin iäkkäissä ja pitkiä etäisyyksiä kulkeutuneissa lösseissä.

Lössille ominaiset, raekoon 20–100 µm partikkelit kulkeutuvat tyypillisissä myrskyolosuhteissa pääasiassa lyhytaikaisessa suspensiossa ja mukautuneessa saltaatioissa (modified saltation). Saltaatioissa vallitsevin raekoko on 70–500µm ja yli 500µm rakeet kulkeutuvat pääasiassa ryömimällä (creep). Alle 20µm olevat partikkelit ovat taipuvaisempia kulkeutumaan pitkäaikaisessa suspensiossa. (Pye 1987)

Kaikki näytteet sisälsivät selkeästi enemmän ja karkeampaa hiekkaa kuin mitä tavanomainen kova tuuli voi suspensiossa kuljettaa, joten myös saltaatio ja ryömintä ovat todennäköisesti olleet merkittävä osa kulkeutumisprosessia ja mahdolliset myrskyt ovat voineet osaltaan vaikuttaa karkeamman aineksen kulkeutumiseen. Myös eolisen hienoineksen sekoittuminen paikalliseen sedimenttiin on mahdollista, mutta näytteiden raekokojakaumissa ei ole havaittavissa tällaiseen viittaavaa, selkeää bimodaalisuutta. Heikkoja tällaiseen viittaavia piirteitä voidaan tulkita vain Kivisillanmäen rakeisuuskäyrästä (Kuva 28).

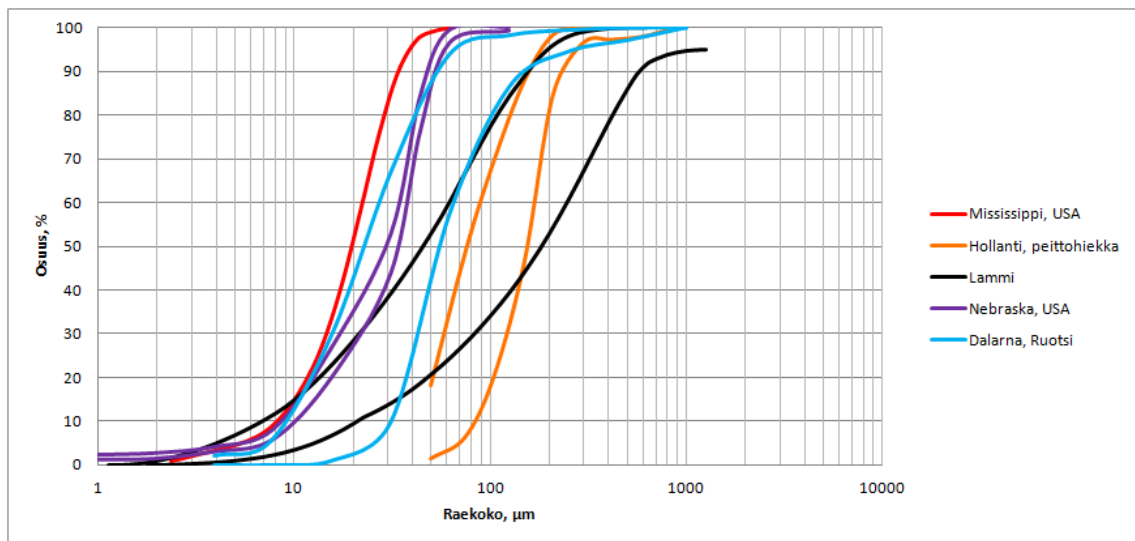
Lössikerroksille on tyypillistä kerroksen raekoon hienoneminen lähdealueesta pois päin (mm. Flint 1971, Pye 1987). Edustavin esimerkki tästä on Kiinan lössiylänkö, jossa yhtenäisessä, jatkuvassa lössisarjassa voidaan havaita raekoon hienoneminen pohjoisen lössiylängön hiekkaisesta lössistä eteläosan saviseen lössiin (Prins ja Vriend 2007). Dijkmans (1990) havaitsi Grönlannin modernien lössikerrosten olevan selkeästi tyypillisiä lössejä karkeampaa, mikä johtuu hyvin lyhyestä, vain muutaman kilometrin etäisyydellä olevasta materiaalilähteestä.

Lammin alueen lössikerrokset edustavat raekoon perusteella hyvin lyhyen matkan, noin 0,1–2 km, kulkeutunutta ja nuorta lössiä, jossa ei ole ehtinyt tapahtua merkittävää rapautumista. Epätyypillisen karkea raekoko voi osittain olla myös tulosta sekoittumisesta paikalliseen, erodoituneeseen ainekseen, kuten on todettu tapahtuneen

Grönlannissa (Dijkmans 1990), tai joidenkin näytekohteiden kohdalla selittyä matalaan veteen kerrostumisella, jolloin sedimentti on jalostunut rantavoimien ja virtausten johdosta kohti karkeampaa raekokoa. Sekoittumisen merkittävimpinä tekijöinä ovat routa, vesi ja joissain tilanteissa mahdollisesti myös painovoima.

Lössi on osa eolisten sedimenttien jatkumoa, johon kuuluvat dyynihiekat, peittohiekat, hiekkaiset lössit ja silttiset lössit (Pye 1995), kasvavan kulkeutumismatkan ja hienonevan raekoon mukaisesti luoteltuna. Lammin esiintymät jäävät ominaisuuksiltaan peittohiekkojen ja hiekkaisen lössien välimaastoon.

Lammin lössikerrokset vastaavat rakenteellisilta ominaisuuksiltaan enemmän lössiä kuin peittohiekkaa, joka on yleensä (sub)horisontaalisesti kerroksellista, hienosti laminoitunutta, tiivistä ja suhteelliset hyvin lajitunutta (Castel 1991, Dijkmans 1990). Lammin lössin raekoko vastaa hiekan osalta kohtuullisen hyvin peittohiekkaa, mutta sisältää selkeästi enemmän silttiä (Kuva 40).



Kuva 40. Peittohiekan ja lössien raekokojakaumat ja niiden vaihtelu eri esiintymissä. Lammin näytteistä huomoitu vain ylimmän kerrokset. Mississippi (Pye 1984) edustaa tyypillistä lössiä, Nebraska (Swineford ja Frye 1951) tavanomaista karkeaa lössiä, Dalarna (Falk 1955) Ruotsalaista eolista silttiä ja Hollanti (Castel 1991) peittohiekkaa.

Lössikerroksia edustavista näytteistä Ristimäen näytteen U-suhde poikkesi hieman muista, ollen selkeästi muita kohteita suurempi (Taulukko 5). Lammin alueen

lössikerrostumien U-suhde vastaa kohtalaisen hyvin Kiinassa ja Euroopassa (Vandenbergh et al. 1997 ja Schulte et al. 2014) tutkittujen lössikerrostumien U-suhdetta ja osoittaa samantyyppistä vaihtelua, vaikka esiintymien välillä onkin selkeä ero raeko'issa. Lammin lössikerrosten U-suhde on vertauskohteina olleiden lössikohteiden U-suhteisiin verrattuna painottunut hieman suurempiin arvoihin, mikä on ymmärrettävää aineksen lyhyemmän kulkeutumismatkan ja tyyppillistä lössiä karkeamman raekokojakauman huomioiden.

Lössikerrosten alla olevien, keskimäärin karkeampien kerrosten suurempi U-suhde kuvaa odotetusti hienon siltin vähyyttä suhteessa karkeampaan silttiin. Onnenvuori B alaosan, jonka tiedetään olevan veteen kerrostunutta kerroksen sisäisten rakenteiden, kuten hiekkaisten väreiden ja silttisten laminoiden perusteella, U-suhde on merkittävästi muita kerroksia suurempi. Muiden alempien kerroksien U-suhde on myös hieman lössikerroksia suurempi, samaa suuruusluokkaa Ristimäen yläosan ja alaosan kanssa. Hyvin lähekkäin olevien, eolista kerrostumaa edustavien Onnenvuori A:n ja B yläosan U-suhteiden ero on yllättävän suuri muihin lähekkäisiin näytekohteisiin verrattuna ja herättää kysymyksiä eron syistä ja menetelmän luotettavuudesta tämän aineiston kannalta. Alaosien suurempi U-suhde vihjaa kerrostumisympäristön eroon verrattuna lössejä edustaviin yläosiin, vaikka Karhunlähteenpelto C alaosa ja Ristimäki yläosa poikkeavatkin selkeästi tästä oletuksesta.

5.2 Rakeiden pintarakenne

SEM-analysoidut rakeiden piirteet vastaavat hyvin Mahaney (2002) ja Krinsley ja Doornkampin (1973) tulkintoja glasiaalisen, subakvaattisen ja eolisen ympäristön rakeiden piirteistä. Lammin rakeissa painoutuivat eniten glasiaaliset piirteet, lössille tyyppilliset kiinnittyneet partikkelit ja yleisesti eolisissa rakeissa ilmenevät kääntyneet eroosiopinnat, sekä liukeneminen ja saostuminen.

Yleisimmät piirteet kaikista tutkituista rakeista olivat kääntyneet eroosiopinnat, sileät murtumapinnat, kiinnittyneet partikkelit, sekä liukeneminen ja saostuminen. Muita

kohtuullisissa määrin esiintyviä piirteitä olivat simpukkamurrokset ja iskostuneet rakeet. Kaikkien näytekohteiden kaikissa tutkituissa rakeissa oli kääntyneitä eroosiopintoja ja kiinnittyneitä partikkeleita. Muutamissa rakeista oli kääntyneitä eroosiopintoja hädin tuskin havaittava määrä, mutta kiinnittyneitä partikkeleita oli yleensä melko runsaasti, toisinaan paksuina rietta peittävinä kerroksina. Eniten rakeiden pinta-alaa peittävät yksittäiset piirteet olivat sileät murtumapinnat, liukeneminen ja saostuminen, sekä kiinnittyneet partikkelit. Kääntyneet eroosiopinnat olivat merkittävin piirre vain harvassa, melko hyvin tai hyvin pyöristyneessä rakeessa.

Subakvaattisesta kulkeutumisesta kertovia mekaanisia V-muotoja havaittiin vain Outsillan ja Kivisillanmäen näytteissä yhdessä rakeessa. Piirteet olivat erittäin pienialaisia ja vaatimattomia. Sileitä murtumapintoja esiintyi lähes kaikissa rakeissa. Rakeet, joista murtumapinnat puuttuivat, olivat joko pinnoiltaan riittävän hyvin pyöristyneitä tai rakeita peitti runsas liukenemisesta ja saostumisesta muodostunut pinta.

Liukenemista ja saostumista esiintyi lähes kaikissa rakeissa, vaikkakin määrällisesti hyvin vaihtelevana tai toisinaan selkeästi enemmän saostumiseen painottuneena. Liukeneminen ja saostuminen olivat runsainta keskimäärin hieman pyöristyneemmissä rakeissa, jotka ilmensivät myös runsaimmin muita eolisiin prosesseihin viittaavia piirteitä. Liukenemisen ja saostumisen pintarakenteet puuttuivat rakeista, joiden ilme oli hyvin tuore ja joissa kääntyneet eroosiopinnat olivat myös erittäin vähäisiä.

Simpukkamurroksia oli kaikissa näytteissä Pienistöä lukuun ottamatta. Simpukkamurroksia havaittiin eniten Onnenvuori B yläosan rakeissa ja vähiten Kivisillanmäen näytteessä. Iskostuneita rakeita oli kaikissa muissa näytteissä, paitsi Kivisillanmäen rakeissa. Iskostuneita rakeita oli eniten Onnenvuoren A ja B yläosan näytteissä ja vähiten Outsillan, Mataramäen ja Pienistön rakeissa.

Maljamaisia kovertumia esiintyi hyvin vähäisesti. Eniten Outsillan ja Mataramäen rakeissa, joissa kummassakin vain kolmessa rakeessa. Piirre havaittiin Kivisillanmäen ja Pienistön näytteissä vain yhdessä rakeessa. Rakeiden pinnalla olevat syvänteet ja kuopat olivat hyvin usein vähintään osittain kiinnittyneiden partikkelien peittämiä, joten rakeiden pinnoilla on saattanut olla havaittua enemmän maljamaisia kovertumia, joita ei ole pystytty tulkitsemaan.

SEM-tulkituissa rakeissa dominoivat piirteet selkeästi vaihtelivat sekä näytekohteiden sisällä, että niiden välillä. Näytteen sisäinen vaihtelu oli suurimmillaan lähes eolisesta lähes lasiaaliseen ja subakvaattiseen rakeeseen. Lammin näytteiden kokonaisvaltainen yleisilme oli vahvasti lasiaalisiin piirteisiin painottuva, vaikkakin rakeiden tulkinta painottui hieman enemmän eolisiin piirteisiin runsaan kiinnittyneiden partikkelien ja liukenemisen ja saostumisen peittämän pinta-alan takia.

Selkeästi eolista kerrostumaa kuvastava Pienistön dyynialuetta edustava näyte oli eniten eolisiin piirteisiin painottunut, vaikka rakeista yli puolet oli hieman kulmikkaita ja suurimmassa osassa rakeiden päällimmäisten piirteiden alta pystyi helposti havaitsemaan aiempia lasiaalisia ja subakvaattisia piirteitä, kuten vanhoja suuria lohkeamapintoja. Onnenvuoren näytteiden A:n ja B yläosan rakeet olivat keskimäärin kulmikkaimpia ja painottuivat eniten lasiaalisiin piirteisiin. Vain 800 metrin etäisyydellä Onnenvuoresta etelään olevan Kivisillanmäen rakeet olivat selkeästi eolisempia piirteiltään ja vähemmän kulmikkaita pyöristyneisyyden painottuessa hieman kulmikkaisiin. Noin puolentoista kilometrin etäisyydellä tosistaan olevien Outsillan ja Mataramäen rakeiden piirteet painottuivat vahvasti eolisiin, mutta vajaa kaksi kilometriä luoteeseen olevan Karhunlähteenpellon rakeet olivat piirteiltään selkeästi vaihtelevampia ja painottuivat vain hieman enemmän eolisiin kuin lasiaalisiin ja subakvaattisiin piirteisiin.

Eri kulkeutumisympäristöjen tyypillisten piirteiden ikäjärjestys painottui tuorempiin eolisiin piirteisiin, jotka olivat syntyneet vanhempien lasiaalisten ja subakvaattisten piirteiden päälle, vaikkakin tuoreiden eolisten piirteiden osuus oli joidenkin rakeiden kohdalla hyvin vähäistä. Rakeissa oli usein nähtävillä selkeästi vanhempia eolisia alueita, jotka olivat jäänteinä tuoreempien lasiaalisten ja subakvaattisten alueiden ympäröimänä, joissa puolestaan oli nähtävillä jo uusia eolisesta kulkeutumisesta syntyneitä piirteitä. Vanhemmat, mahdollisesti preglasiaaliaikaiset kääntyneet eroosiopinnat esiintyivät laaja-alaisimpina ja nuoremmat paikallisempina rakeen särmillä ja ulkonevilla pinnoilla.

Länsi-Euroopan lösseissä usein tavattava, rakeiden pintoja peittävä ja pyöristyneen vaikutelman antava runsas savipeite (Derbyshire et al. 1988) puuttui Lammin alueen lössikerrosten rakeista. Rakeissa ei myöskään ollut havaittavissa lössiytymiseen usein liitettävää karbonaattien runsasta muodostumista kerrostuman huokostiloihin.

Rakeiden koko vaikuttaa pyöristyneisyyteen: pienemmällä rakeella on pienempi massa ja kiihtyvyys eolisissa törmäyksissä, jolloin särmien pyöristyminen ei ole yhtä voimakasta kuin suuremmilla rakeilla. Alle 200 µm rakeilla lohkeavuuspintojen mukainen murtuminen muuttuu dominoivaksi piirteeksi ja rakeet ovat tyypillisimmin muodoltaan littania. (Mahaney 2002)

Tulkitut rakeet olivat 250–500 µm väliltä. Näistä pienempikokoiset rakeet olivat yleisempiä, ja sisälsivät usein runsaasti lohkeavuus- ja murtumapintoja. Rakeiden pyöristyneisyys näytteen sisällä vaihteli suuresti, enimmillään hyvin kulmikkaasta pyöristyneeseen. Eniten pyöristyneisyyttä havaittiin Pienistön ja Outsillan yläosan näytteissä, joiden kummankin keskimääräinen pyöristyneisyys painottui kuitenkin hieman kulmikkaaseen.

5.3 Lammin lössin esiintymislaajuus ja kerrostumisympäristö

Lammin alueen lössikerrokset esiintyvät pääasiassa pieninä, epäyhtenäisinä alueina. Pienin tässä työssä kuvattu lössiesiintymä oli Vanhan Niinimäen noin 20 neliömetrin alue, jonka välittömästä läheisyydestä ei löytynyt muita vastaavia kerrostumia. Suurimmat esiintymät olivat Onnenvuoren ja Outsillan noin 150–200 metrin laajuisten paljastumien yhtenäiset lössikerrokset.

Paksuimmat lössikerrostumat olivat Outsillassa (55 cm) ja Onnenvuorella (noin 80 cm). Muilla kohteilla kerros oli paksuimmillaan noin 10–50 cm. Ohuimmat kerrokset olivat yleensä mäkien lailla ja jyrkemmissä rinteissä, paksuimmat loivemmilla maa-alueilla. Lössikerros oli usein painunut alapuolisen moreenin tai kivikon koloihin, jolloin ohuiden, teoriassa yhtenäisten kerrosten havainnoiminen oli mahdotonta. Kerroksen paksuus saattoi vaihdella lateraalisesti alapuolisen topografian mukaisesti. Kohteissa, joissa lössimäisen kerroksen alla oli muita, hiekkaisempia kerroksia, ylimmän kerroksen paksuus oli keskimäärin noin puoli metriä tai vähemmän. Näillä alueilla on todennäköisesti ollut suurempi materiaalisyyttö jo ennen lössin kerrostumista.

Kohteissa Outsilta, Karhunlähteenpelto, Naulitunmäki A, Mataramäki ja Santala oli ominaisuuksiltaan samantyyppinen hiekkainen, rakenteeton ja hyvin lajittunut kerros lössin alla. Kaikissa kohteissa hiekkaisen kerroksen yläraja oli vaihtuva. Kohteet kuuluvat eteläisen Lammin delta-alueeseen ja edustavat mahdollisesti lössin kerrostumista edeltänyttä eolista kerrostumista veteen, ennen vedenpinnan laskua kunkin kohteen korkeuden alapuolelle. Karhunlähteenpelto sijaitsee deltan distaaliosassa, joten sen alin hiekkainen kerros saattaa edustaa myös deltan hiekkvoja.

Lössiesiintymät painoutuivat eniten mäkien pohjois- ja luoteispuolille, sekä etelä- ja lounaispuolille. Luoteen suunta oli yleisin. Samaan harjujaksoon kuuluvilla Onnenvuoren ja Untulanharjun kohteilla lössiä esiintyi useampiin ilmansuuntiin viettävillä rinteillä. Untulanharjulla suunta vaihteli pohjoisesta lännen kautta etelään. Soranottoalueena toiminut Onnenvuori on ollut alun perin pieni deltamuodostuma, jonka korkeus oli noin 162 mmpy ja jonka lössiesiintymät painoutuivat ilmeisesti deltan itäiselle puolelle (Wisniewski 1973). Soranoton takia Onnenvuoren deltasta olivat vain rippeet jäljellä ja lössikerrokset olivat kenttähavainnoinnin aikana havaittavissa deltan itäpuolen pohjoiseen ja etelään viettävillä rinteillä, sekä tasaisemmalla alueella havainnointipisteestä pohjoiseen.

Naulitunmäki oli ainoa kohde, jossa pääasiassa yhtenäinen kerrostuma esiintyi kohtalaisen jyrkässä, luoteen suuntaan kallistuvassa rinteessä. Naulitunmäen esiintymä oli rinteiden uomassa ja kerrostuma rajoittui koillisen puolelta jyrkempään rinteeseen ja lounaan puolelta vain aavistuksen jyrkempään, koilliseen päin antavaan rinteeseen. Naulitunmäen laella kerrostuma oheni paikoitellen täysin havaitsemattomaksi, mutta laelta kaakkoon viettävässä matalassa painanteessa lössiä esiintyi taas melko tarkasti painanteen reunojen rajoittamana.

Lammin lössin esiintyminen muistuttaa Dijkmansin (1990) havaintoja Grönlannin proksimaalilösseistä: lössit kerrostuivat vuoristorinteiden tuulenpuolelle ja vain hyvin vähäisesti tuulen suojapuolelle. Rinteiden harjalla oleviin proksimaalilössikerroksiin muodostui usein samansuuntaisia painanteita (*blowouts*), joista silttikerros erodoitui tuulen vaikutuksesta koko kerroksen paksuudelta. Tämä vaikutti kerrostumien paksuuteen rinteiden laella.

Lammin alueen vallitsevat tuulensuunnat ovat nykyään etelästä, luoteesta tai kaikista suunnista niiden välillä lännen puolella (Ilmatieteen laitos 2016b). Lössikerrosten

muodostumisen aikaan tuuliolosuhteisiin ovat vaikuttaneet suuresti myös jäätiköltä, luoteen suunnalta, tulevat katabaattiset tuulet. Lammin alueella havaittujen kerrostumien painottuminen keskimäärin rinteiden läntisille puolille vastaa kerrostumisajan oletettua vallitsevaa tuulensuuntaa.

Esiintymien korkeuksissa on havaittavissa kaksi eri ryhmää: Lamminharjun alle 130 mmpy olevat esiintymät ja muut, noin 140 mmpy ja sitä ylempänä olevat esiintymät. Eroavaisuus korkeudessa jakaa esiintymät Baltian jääjärven laskun jälkeen muodostuneisiin kerrostumiin ja Yoldiameren astettaisen laskun aikana tai jälkeen muodostuneisiin kerrostumiin. Ristimäen kohde on Baltien jääjärven ylimmän rannan (n. 162 mmpy) yläpuolella ja vapautunut mantereena heti jäätikön vetäydyttyä tältä kohdalta. Pienistö, Onnenvuori ja Untulanharju ovat Yoldiameren ylimmän rannan (n. 135 mmpy) alapuolella ja nousivat kuivalle veden laskiessa Yoldiamerivaiheen aikana. Muut kohteet ovat alueilla, jotka ovat paljastuneet Baltien jääjärven nopean laskun yhteydessä.

Kaikissa näytteissä, jotka edustivat päällimmäisen, lössikerroksen alla olevia kerroksia, oli visuaalisesti tarkasteltuna runsaasti kiilteitä. Jauhiainen (1972) havaitsi tutkimuksissaan Lehtimäen lössikerroksissa (noin 155 mmpy) samantyyppisiä piirteitä; Kivisillanmäestä noin 700 metriä eteläkaakkoon sijaitsevan Lehtimäen ylimmässä horisontissa oli alle 1% kiilteitä ja alemmissa horisonteissa (3kpl) kiilteiden määrä vaihteli 32,9–48,4% välillä.

Lammin alueen näytteistä eniten kiilteitä havaittiin Onnenvuoren B alaosa ja Outsillan alaosa edustavissa näytteissä, joissa lähes kaikki tai suurin osa yli 1 mm rakeista oli kiilteitä. Ristimäen alaosan ja Karhunlähteenpellon B:n (keskiosa) rakeissa oli runsaasti kiilteitä, mutta vain pienemmillä raekokofraktioilla: Ristimäen alaosan tapauksessa alle 0,5 mm fraktioissa ja Karhunlähteenpelto B:n alle 0,3 mm fraktioissa. Karhunlähteenpelto C:n (alaosa) rakeissa oli 0,5–0,3 mm fraktiossa vähän kiilteitä, 0,3–0,25 mm fraktiossa runsaasti kiilteitä ja alle 0,25 mm fraktiossa visuaalisesti tarkasteltuna lähes pelkästään kiilteitä. Kaikki kiilteitä runsaasti sisältävät näytteet edustivat ylimmän lössikerroksen alapuolisia kerroksia. Muissa näytteissä ei havaittu hyvin vähäisiä määriä enempää kiilteitä.

Yhteneväisyys kerroksien vertikaalisen aseman kanssa, Onnenvuori B alaosan fluviaalinen kerrostumisympäristö ja osassa kerroksia nähtävät rakenteet antavat

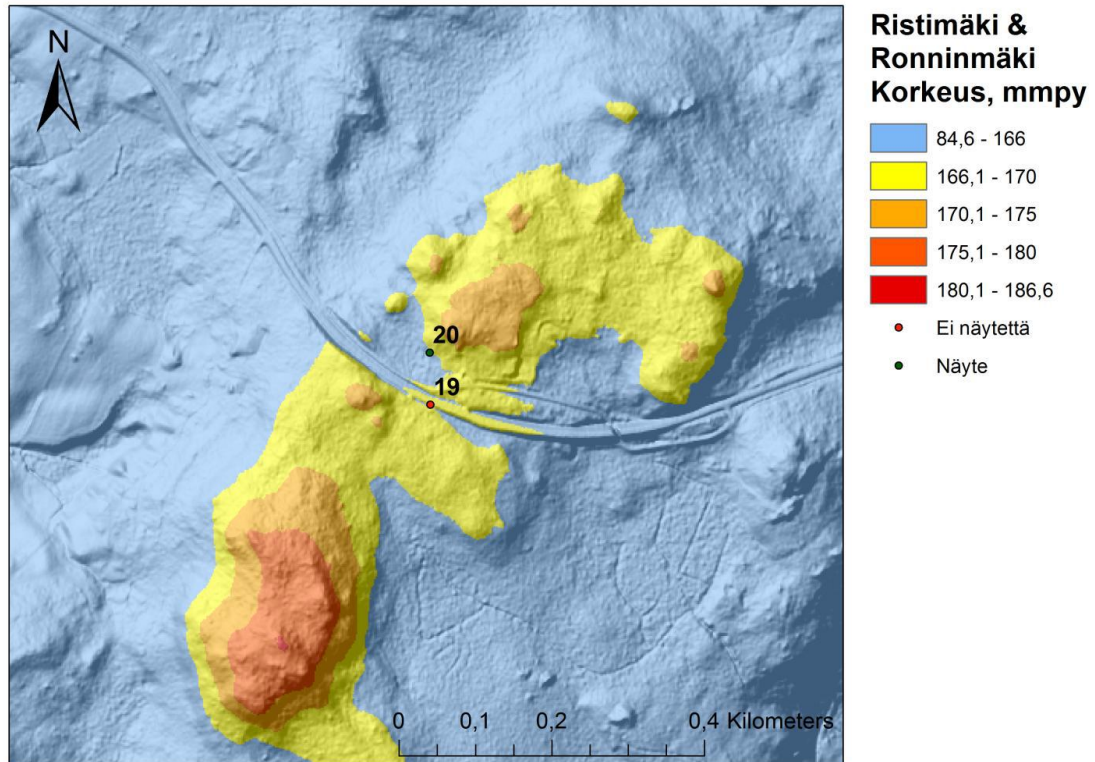
ymmärtää, että runsas kiillepitoisuus voi mahdollisesti liittyä veteen tai kostealle maalle kerrostumiseen. Pyen (1987) mukaan eolinen pöly tarttuu helpommin kaikenkertyyppisiin kosteisiin pintoihin, joiden kanssa pöly joutuu kosketuksiin. Karhunlähteenpellon kohteella oleva alin, piirteiltään selvästi erilainen, hiekkainen kerros on todennäköisesti veteen kerrostunut, joten yläpuoliset kiillerikkaat siltiset kerrokset ovat todennäköisemmin kerrostuneet selkeästi erilaisessa ympäristössä. Yksi mahdollisuus on tuulen valikoiva kuljetus ja eolisen aineksen kerrostuminen ominaispainon vaikuttamana. Myöhemmin kerrostuneiden sedimenttien kiilteiden vähyys voi selittyä materiaalilähteen kuljetukseen saatavilla olevien kiilteiden vähentymisellä.

Ristimäen kohteen sedimenttien hienompaa raekokoa olevat klastit ovat poikkeuksellisia alueen korkeuden huomioiden, sillä eoliset kerrostumat eivät sisällä hienoaainesklasteja. Ristimäen näytteiden U-suhde ja saven määrä olivat myös lähempänä muiden kohteiden alempia, todennäköisesti veteen kerrostuneita kerroksia. Åbergin (2013) tutkimusten mukaan Baltian jääjärven ylin ranta on korkeimmillaan noin 163 mmpy Hollolassa, joka sijaitsee Lammilta noin 30 km itään. Lammin alueella korkeinta rantaa edustavat Etelä-Lammin deltat, jotka ovat noin 162 mmpy. Ristimäki sijaitsee 166 mmpy, joten se on ollut vedenpinnan yläpuolella vapautuessaan jäästä.

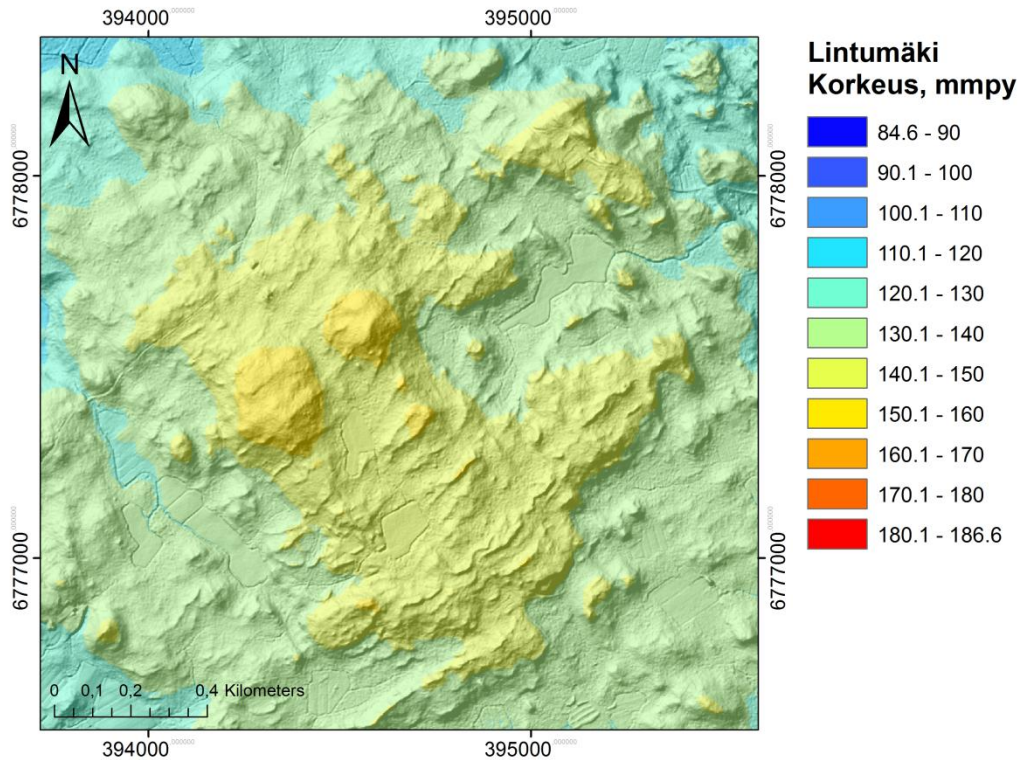
Havainnointipiste on Ristimäen laella matalassa painanteessa, joka viettää alapäin luoteeseen hieman kapeampana uomana. Painanne on voinut olla jäätikköä vasten patoutunut lampi vain siihen asti, kunnes perääntyvä jäätikkö on siirtynyt pois Ristimäen luoteisrinteeltä (Kuva 41). Mikäli Ristimäen alemman kerroksen piirteet ovat syntyneet veteen, niiden on täytynyt syntyä heti kun jäätikkö on perääntynyt kyseisestä kohdasta.

Jäätikön perääntymisnopeutta voi arvioida Lammin alueella esiintyvistä työntömoreeneista (*push moraine*), jotka oletettavasti edustavat jäätikön vuosittaista siirtymistä (Kuva 42). LIDAR-aineiston perusteella havaitut työntömoreenit esiintyvät keskimäärin 40–50 metrin etäisyydellä toisistaan, tosin alueellinen vaihtelu on hyvin suurta. Toisen Salpausselän leveys Lammin alueella on karkeasti arvioiden noin 8 km, mikä jaettuna Saarniston et al. (1994) arvioimalla Toisen Salpausselän muodostumisajalla, 181 vuotta, antaa samansuuntaisia arvoja jäätikön vuosittaiselle perääntymiselle: noin 44 m/v.

Ristimäen havainnointipisteen mahdollinen patoutunut allas olisi ollut hieman yli 100 metrin pituinen, joten sedimentin olisi täytynyt kerrostua noin 2–3 vuoden aikana. Ristimäen sedimentti oli klasteja lukuunottamatta hyvin samanlaista koko kerroksen paksuudelta, joten koko noin 50–60 cm paksu lössimäinen kerros on todennäköisesti kerrostunut hyvin samankaltaiseen kerrostumisympäristöön, patoutuneeseen altaaseen.



Kuva 41. Ristimäki (22) ja mahdollisesti muodostunut jäätikön patoama allas, jonka veden korkeus oli 166 mmpy. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.



Kuva 42. Lintumäen työntömoreenit. Jäätikkö perääntyi luoteeseen. Korkeusmalli ©Maanmittauslaitos 05/2015.

Jauhiaisen (1972), Núñezin ja Alhosen 1974, sekä Hyttisen et al. (2014) epäilykset Lammin lössin veteen kerrostumisesta ovat uskottavia. Lössin karkea raekoko, Ristimäen ja Karhunlähteenpellon alaosissa havaitut rakenteet ja Mataramäen, Mataramäen soranottoalueen ja Vanhan Niinimäen yksittäiset kivet lössikerroksessa vihjaavat vahvasti veden läsnäoloon kerrostumisen aikana. Eteläisen Lammin delta-alueen kohteilla on kuitenkin tulkittavissa vaihtuminen selkeästi fluviaalisesta ympäristöstä eoliseen, joten osa kohteista tai niiden kerroksista on epätyypillisestä karkearakeisuudestaan huolimatta eolisia. Lammin lössin sedimenttien yhtenevät piirteet sekä lössien että peittohiekkojen kanssa tekevät sedimentin tarkasta määrittämisestä haasteellista, kuten aiempien tutkimusten tulosten vaihtelun perusteella voidaan nähdä. Núñezin ja Alhosen (1974) arviot useita satoja vuosia kestäneestä kerrostumisesta ovat yliampuvia ja Rainion (1997) arvio muutamasta kymmenestä vuodesta on lähempänä todennäköistä kerrostumisaikaa. Joidenkin kohteiden osalta kerrostumisnopeus on ollut mahdollisesti vielä suurempi, vain muutamia vuosia, kuten Ristimäen sedimenteistä saattaa ymmärtää.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Lammin lössi on epätyypillinen (lössi) raekoko-ominaisuuksiltaan ja esiintymiseltään. Lammin alueella ei ole selkeitä, täysin yhteneväisiä esiintymiä, vaan erittäin paikallisten vaikutusten johdosta sedimenteissä esiintyy suurta vaihtelua raekokojakaumissa, ominaisuuksissa ja esiintymisessä.

Lammin lössit ovat raekooltaan peittohiekan ja lössin välillä. Raekokoa lukuun ottamatta ominaisuudet vastaavat enemmän lössiä, joten Lammin lössi on todennäköisemmin erittäin karkea proksimaalilössi /hiekkainen lössi, jonka lähtömateriaali on erittäin lähellä.

Osa Lammin alueen kohteista on todennäköisesti osittain tai kokonaan veteen kerrostuneita eolisia sedimenttejä. Erityisesti Ristimäen poikkeavat ominaisuudet viittaavat esiintymän kerrostuneen mahdollisesti veteen. Usean tutkitun kohteen alla oli lajittuneempi, rakenteeton hiekkaisempi kerros, joka kuvastaa eolista kerrostumista veteen.

Lammin lössin esiintyminen on painottunut harjujen, deltojen ja mäkien tuulenpuoleisille rinteille, mutta kerrostumia esiintyy myös muilla rinteillä. Kerrostumat ovat hyvin paikallisia ja paksuudeltaan vaihtelevia. Selkeimmät pienialaiset kerrokset löytyvät tuulensuojaisammista paikoista, kuten painanteista. Mäkien lailla ja harjanteilla ei ole kunnollisia kerroksia, mutta ohuita kerroksia löytyy usein rinteillä kivien koloihin painuneena.

Itämeren altaan vedenpinnan laskiessa kuivalle jääneiden deltatasanteiden ja rinteiden hienoaaines on alkanut erodoitua ja kulkeutua tuulen mukana heti sedimenttien paljastumisen jälkeen. Lammin lössit ovat kerrostuneet näistä sedimenteistä, jotka ovat kulkeutuneet lyhytaikaisen suspension lisäksi saltaatiassa, mukautetussa saltaatiassa ja mahdollisesti myös vierimällä. Kulkeutumismatka on vaihdellut alle sadasta metristä muutamaa kilometriin ja kerrostuminen on tapahtunut melko nopeasti, arviolta muutamasta vuodesta yli kymmeneen vuoteen.

Lammin lössin rakeiden pintarakenteet kuvaavat eniten glasiaalista ja eolista kulkeutumista ja vain hyvin vähän subakvaattista kulkeutumista. Muutamissa Lammin

lössin rakeissa oli merkkejä mahdollisesti vanhemmista eolisista piirteistä, jotka ovat saattaneet syntyä ennen jääkautta. Kulkeutumisympäristön tulkintaan tulee suhtautua varauksella, koska käytetty näytemäärä oli pieni ja lössirakeiden kulkeutumisympäristön piirteille on tavallista suuri vaihtelevuus ja joitain samoja piirteitä voi syntyä eri olosuhteissa. Tulkittavien SEM-rakeiden määrän pitäisi olla huomattavasti suurempi luotettavien tulkintojen esittämiseksi.

Tarkempi tutkimus Lammin lössin kuivalle maalle ja veteen kerrostuneista osista ja niiden eroista olisi hyödyllinen lisä nykyiseen tutkimukseen. U-suhteen hyödyntäminen edellyttäisi useiden vertailuympäristöjen käyttöä tutkimuksen tukemiseksi. Saven määrä Lammin näytteissä osoitti hyvin samanlaista jako näytteiden kesken kuin U-suhteet ja aihetta voisi tutkia tulevaisuudessa tarkemmin. Mikäli saven määrä osoittautuu toimivaksi indikaattoriksi hienojakoisen eolisen ja fluviaalisen kerrostumisympäristön tulkittamisessa, siitä voisi olla hyötyä tulevissa lössitutkimuksissa Suomessa.

8 KIITOKSET

Kiitokset kärsivällisille graduohjaajille Mia Kotilaiselle, Outi Hyttiselle ja Anu Kaakiselle, Lammi-asiantuntijalle Maija Haavisto-Hyväriselle, sekä avuliaille sukulaisille Arja-Leena ja Harri Kaivolalle.

9 VIITELUETTELO

- Björck, S. 1995. A review of the history of the Baltic Sea, 13.0-8.0 ka BP. *Quaternary International* 27, 19–40.
- Butzer, K. 1965. *Environment and Archeology*. Methuen, London. 524 s.
- Castel, I. Y. 1991. Late Holocene eolian drift sands in Drenthe (The Netherlands). *Geografisch Instituut Rijksuniversiteit Utrecht*. 156 s. (väitöskirja)
- Derbushire, E., Billard, A., Vliet-Lanoë, B. van, Lautridou, J.-P. ja Cremaschi M. 1988. Loess and palaeoenvironment: some results of a European joint programme of research. *Journal of Quaternary Science* 3, 147-169.
- Dijkmans, J. W. A. 1990. Aspects of geomorphology and thermoluminescence dating of cold climate eolian sands. *Geografisch Instituut Rijksuniversiteit Utrecht*. 250s. (väitöskirja)
- Donner, J. 1978. The dating of the levels of the Baltic Ice Lake and the Salpausselkä moraines in South Finland. *Commentationes Physico-Matematicae* 48, 11–38.
- Falk, Å. 1955. Preliminary mapping of some windblown silt in Dalarna. *Geografiska Annaler* XXXVII, 112-117.
- Flint, R. F. 1971. *Glacial and Quaternary Geology*. John Wiley and Sons, New York. 892 s.
- Haavisto-Hyvärinen, M., Kokko, J. ja Taka, M. 1984. Lammi. Suomen geologinen kartta 1 : 20 000, maaperäkartta, lehti 2134 04. *Geologian tutkimuslaitos*, Espoo.
- Hyttinen, O., Eskola, K. O., Kaakinen, A. ja Salonen V-P. 2014. First direct age determination for the Baltic Ice Lake/Yoldia Sea transition in Finland. *Geologiska Förening i Stockholm Förhandlingar*. 136, 398-404
- Ilmatieteen laitos 2016a. Aineisto ilmatieteen laitoksen avointa dataa, ladattu 29.4.2016 osoitteesta <https://ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data>
- Ilmatieteen laitos 2016b. Tuuliatlas. Sivulla vierailtu 2.5.2016. <http://tuuliatlas.fmi.fi/fi/>
- Jakobsson, M., Björck, S., Alm, G., Andrén, T., Lindeberg, G. ja Svensson, N.-O. 2007. Reconstructing the Younger Dryas ice dammed lake in the Baltic Basin: Bathymetry, area and Volume. *Global and Planetary Change* 57, 355–370.
- Jauhiainen, E. 1972. Lammin lössistä ja sen maannoksesta. *Terra* 84, 152-160.
- Krinsley, D. H. ja Doornkamp, J. C. 1973. *An atlas on quartz grain surface textures*. Cambridge, Cambridge University press 102 s.
- Laitakari, I. 1964. Lammi. Suomen geologinen kartta 1 : 100 000, kallioperäkartta, lehti 2134. *Geologinen tutkimuslaitos*, Espoo.
- Mahaney, W. 2002. *Atlas of sand grain surface textures and applications*. Oxford University Press, New York, 307 s.
- Núñez, M. ja Alhonen, P. 1974. Scanning electron microscopic examination of the deposits covering the southeastern slope of the Onnenvuori hill in Lammi, southern Finland. *Bulletin of Geological society of finland* 46, 109-116.

- Okko, V. 1957. The Second Salpausselkä at Jylisjärvi, East of Hämeenlinna. *Fennia* 81 (4), 1-46.
- Palmu, J.-P. 2012. Henkilökohtainen tiedonanto 05/2012.
- Pécsi, M. 1990. Abstract. Loess is not just the accumulation of dust. *Quaternary International* 7-8, 1-21 s.
- Prins, M. A. ja Vriend, M. 2007. Glacial and interglacial eolian dust dispersal patterns across the Chinese Loess Plateau inferred from decomposed loess grain-size records. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 8, 1525-2027.
- Pye, K. 1984. Loess. *Progress in Physical Geography* 8, 176-217.
- Pye, K. 1987. Aeolian dust and dust deposits. Academic Press, London. 334 s.
- Pye, K. 1995. The nature, origin and accumulation of loess. *Quaternary Science Reviews* 14 (7), 653-667.
- Rainio, H. 1982. Lösssiä Etelä-Suomessa Toisen Salpausselän distaalipuolella. *Geologi* 34, 134-136.
- Rainio, H. 1997. Wind-blown silt: a loess-like deposit in Finland. An example of aeolian activity and deposits associated with deglaciation near the centre of glaciated area. *Geological Survey of Finland, Special Paper* 23, 67-72.
- Saarnisto, M., Rainio, H. ja Kutvonen, H. (toim.) 1994. Salpausselkä ja jääkaudet. *Geologian tutkimuskeskus, Opas* 36, 50 s.
- Saarnisto, M. ja Saarinen, T. 2001. Deglaciation chronology of the Scandinavian Ice Sheet from the Lake Onega Basin to the Salpausselkä End Moraines. *Global and Planetary Change* 31, 387-405.
- Schulte, P., Lehmkuhl, F., Kels, H., Klasen, N. 2014. Environmental change indicated by a site-specific grain size ratio - the example of the Semail loess-paleosol sequence (Romania). *Late Pleistocene and Holocene Climatic Variability in the Carpathian-Balkan Region, Abstracts volume*.
- Shepard, F. J. 1963. *Submarine Geology*. Harper and Row, New York. N.Y. 2nd edition.
- Smalley, J. I. 1966. The properties of glacial loess and the formation of loess deposits. *Journal of Sedimentary Petrology* 36, 669-676.
- Soveri, J. 1933. Lammin pitäjän kasvisto. *Annales Botanicæ Societatis Zoologicæ-botanicæ Fennicæ Vanamo* 4, nro 3, 83 s.
- Swineford, A. ja Frye, J. C. 1951. Petrography of the Peorian loess in Kansas. *Journal of Geology* 59, 306-322.
- Vandenbergh, J., Zhisheng, A., Nugteren, G., Huayu, L. ja Huissteden, K. van 1997. New absolute time scale for the Quaternary climate in the Chinese loess region by grain size analysis. *Geology* 25, 35-38.
- Vandenbergh, J., Mijchels, H. J., Roebroeks, W. ja Gemke, D. 1985. Litostratigraphy and palaeoenvironment of the Pleistocene deposits at Maastricht-Belvédère, Southern Limburg, The Netherlands. *Leiden University Press* 7-18.
- Wisniewski, E. 1973. The genesis of the Lammi esker (Southern Finland). *Fennia* 112, 31 s.
- Wohlfarth, B., Björck, S., Funder, S., Houmark-Nielsen, M., Ingólfsson, Ó., Lunkka, J.-P., Mangerud, J., Saarnisto, M. ja Vorren, T. 2008. Quaternary of Norden. *Episodes* 31, 73-80.

- Zárate, M. 1993. Preface. Teoksessa Zárate, M., Flegenheimer, N. ja Pécsi, M. (toim) Properties, chronology and Paleoclimatic significance of loess. Quaternary International 17, s. 3.
- Åberg, A. 2013. Itämeren ylin ranta Suomessa. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, Geotieteiden ja maantieteen laitos, geologian osasto, 84 s.